

Institut Géographique National
Laboratoire COGIT

LE RISQUE

Jean-François GLEYZE
Janvier 2002

Sommaire

SOMMAIRE.....	3
TABLES.....	7
TABLE DES FIGURES	7
TABLE DES TABLEAUX	8
TABLE DES CARTES	10
TABLE DES FORMULES	10
QU'EST-CE QUE LE RISQUE ?.....	12
LA DEFINITION DU DICTIONNAIRE	12
EXEMPLES DE CATASTROPHES	12
LA CARACTERISATION DU RISQUE PAR SES DEUX COMPOSANTES ALEA ET VULNERABILITE	13
<i>Le risque comme produit de l'aléa et de la vulnérabilité.....</i>	<i>13</i>
<i>Vulnérabilité et enjeux.....</i>	<i>13</i>
<i>Les différents niveaux de risque</i>	<i>13</i>
<i>Vocabulaire élémentaire du risque.....</i>	<i>15</i>
<i>Correspondance probabiliste</i>	<i>15</i>
LES DOMAINES DU RISQUE	15
LES ETUDES DE RISQUES	16
<i>Vers une prise en compte accrue des risques</i>	<i>16</i>
<i>La pluridisciplinarité des études de risques</i>	<i>17</i>
PLAN DE L'EXPOSE.....	17
CLASSIFICATION DES RISQUES	19
LES CATEGORIES DE RISQUES	19
LES RISQUES NATURELS	20
<i>Les inondations.....</i>	<i>20</i>
<i>Les feux de forêt.....</i>	<i>20</i>
<i>Les mouvements de terrain</i>	<i>21</i>
<i>Les avalanches</i>	<i>21</i>
<i>Les séismes</i>	<i>22</i>
<i>Les volcans</i>	<i>22</i>
<i>Les tempêtes</i>	<i>23</i>
LES RISQUES TECHNOLOGIQUES	23
<i>Les risques industriels</i>	<i>23</i>
<i>Les ruptures de barrage</i>	<i>24</i>
<i>Les transports de matières dangereuses.....</i>	<i>24</i>
<i>Les risques nucléaires</i>	<i>25</i>
QUELQUES REMARQUES SUR LES RISQUES URBAINS	25
<i>Les risques bâtimentaires</i>	<i>25</i>
<i>Les risques de réseaux.....</i>	<i>26</i>
<i>Les risques "de société"</i>	<i>26</i>
LES RISQUES SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTAUX	26
<i>Les risques de toxicité et de pollutions</i>	<i>26</i>
<i>Les risques d'épidémies et de maladies.....</i>	<i>27</i>
<i>Les risques alimentaires.....</i>	<i>28</i>
LA COMPOSANTE ALEA : TRAITEMENT DES INCERTITUDES ET ASPECTS PROBABILISTES DES RISQUES	29
L'ANALYSE DE L'ALEA DES RISQUES URBAINS	31
<i>L'aléa relatif aux accidents en milieu urbain.....</i>	<i>31</i>
<i>L'aléa relatif aux actes délinquants en milieu urbain</i>	<i>31</i>
L'ANALYSE DE L'ALEA DES RISQUES LIES AUX SYSTEMES HYDROLOGIQUES.....	32
<i>Les barrages.....</i>	<i>32</i>
<i>Les inondations.....</i>	<i>33</i>

L'ANALYSE DE L'ALEA DES RISQUES LIES AU DOMAINE FORESTIER	34
<i>L'aléa des risques naturels menaçant les peuplements forestiers</i>	34
<i>L'aléa des risques de feux de forêt</i>	35
SYNTHESE	36
LA COMPOSANTE VULNERABILITE : ASPECTS DETERMINISTES DES RISQUES.....	38
LA "DEFINITION DU DICTIONNAIRE"	38
LE CONCEPT DE VULNERABILITE DANS L'ETUDE DE RISQUES	38
L'ANALYSE DE VULNERABILITE	38
ÉLÉMENTS VULNERABLES	39
<i>L'être humain</i>	39
<i>L'écosystème, l'environnement</i>	40
<i>Les richesses économiques, les infrastructures</i>	40
<i>Synthèse</i>	40
FACTEURS DE VULNERABILITE	41
EXEMPLES D'ÉVALUATION DE NIVEAUX DE VULNERABILITE ET DE QUANTIFICATION DES DOMMAGES	43
<i>L'évaluation de la vulnérabilité comparativement à des valeurs-seuils de risque acceptable</i>	44
<i>L'évaluation prospective de la vulnérabilité par discrétisation</i>	45
<i>L'évaluation de la vulnérabilité dans une perspective décisionnelle</i>	47
<i>L'expression de la vulnérabilité par un taux d'endommagement</i>	47
<i>Synthèse</i>	50
LA DETERMINATION DU NIVEAU DE RISQUE : LA SYNTHESE ALEA + VULNERABILITE	52
LES RISQUES D'ATTEINTE A LA VIE HUMAINE	52
LE RISQUE COMME ESPERANCE DES DOMMAGES – LES CLES DE DETERMINATION DU RISQUE	53
<i>Le croisement aléa × vulnérabilité</i>	53
<i>Exemples</i>	54
LE RISQUE COMME DEPASSEMENT DE SEUILS ET LA NOTION DE RISQUE MAXIMUM ACCEPTABLE (R.M.A.)	56
<i>Principe du R.M.A.</i>	56
<i>Exemples</i>	57
L'AIDE A LA DECISION	59
<i>L'analyse coûts-bénéfices</i>	59
<i>Les risques d'une mauvaise décision</i>	60
<i>Le scientifique et le politique au cœur de la décision</i>	61
<i>Exemples pratiques d'analyses de risques pour l'aide à la décision</i>	62
LA PRISE EN COMPTE DES ENJEUX ECONOMIQUES DANS UNE ETUDE DE RISQUES	62
L'ACCEPTABILITE DU RISQUE	65
<i>Des risques égaux et pourtant différents</i>	65
<i>Formalisation de l'acceptabilité du risque au moyen de la composante probabiliste</i>	65
<i>Les notions de risque individuel et sociétal</i>	66
LES ENJEUX ET LES DOMMAGES	71
CLASSIFICATION DES ENJEUX ET DES DOMMAGES	71
<i>Les distinctions usuelles</i>	72
<i>L'inventaire des dommages</i>	73
L'ANALYSE DES ENJEUX ET DES DOMMAGES POTENTIELS	76
<i>... dans une démarche de prévention – exemple d'étude du risque d'inondations</i>	76
<i>... dans une perspective décisionnelle : le Coût Moyen Annuel (C.M.A.) – application au risque d'inondation</i>	80
<i>L'apport de l'analyse économique dans l'évaluation des politiques de prévention des risques</i>	85
L'APRES-CATASTROPHE : LE BILAN DES DOMMAGES	92
<i>Usages dans l'évaluation des dommages</i>	92
<i>L'échelle macroscopique dans l'évaluation des dommages</i>	95
<i>L'échelle microscopique dans l'évaluation des dommages</i>	101
LA PERCEPTION DU RISQUE	106
LA PERCEPTION DU RISQUE	106
<i>Définition</i>	106
<i>Illustrations</i>	106
<i>Les facteurs de perception du risque</i>	107

UTILITE ET AVERSION AU RISQUE.....	108
<i>La règle des paris de Pascal (ou règle de Pascal-Fermat)</i>	109
<i>Le paradoxe de Saint-Petersbourg et la notion d'utilité</i>	109
<i>Introduction à la théorie newmanienne de l'utilité et évaluation des loteries</i>	111
<i>Application aux problèmes de décision liée au risque</i>	114
ÉDUCATION, CULTURE ET MEMOIRE DU RISQUE	115
L'ÉDUCATION AU RISQUE.....	115
<i>État des lieux</i>	115
<i>Les 2 volets de l'éducation au risque : formation et information</i>	116
<i>Deux exemples</i>	116
<i>Synthèse</i>	117
CULTURE ET MEMOIRE DU RISQUE	117
<i>Culture et aspects sociologiques du risque</i>	118
<i>La mémoire du risque</i>	118
<i>La part des informations historiques</i>	119
ASPECTS ADMINISTRATIFS ET REGLEMENTAIRES DES RISQUES	121
LA NEGOCIATION DU RISQUE.....	121
<i>La confrontation entre l'expertise du scientifique et le pouvoir du décideur</i>	121
<i>Compétences et responsabilités dans le domaine des risques</i>	122
<i>Un exemple : la négociation du risque d'inondation</i>	125
LA PREVENTION DU RISQUE.....	125
<i>Histoire de la législation</i>	125
<i>Description des procédures</i>	129
<i>L'état des lieux aujourd'hui</i>	134
<i>Les limites des P.P.R.</i>	136
<i>La prévention en matière de risques urbains</i>	139
<i>La gestion de crise</i>	140
L'ÉVALUATION ET LA PRISE EN CHARGE DES DOMMAGES	141
<i>Vulnérabilité et réglementations administratives</i>	141
<i>Vulnérabilité et dommages dans le domaine assurantiel</i>	142
<i>Règlementations sur la prise en compte des sinistres par l'État, les collectivités et les assurances</i>	143
<i>Synthèse</i>	146
L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE DANS LES ETUDES DE RISQUES	147
INTRODUCTION	147
LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE	148
<i>La carte comme outil de représentation du risque</i>	148
<i>La carte comme outil d'information, de formation et de documentation autour du risque</i>	156
<i>La carte comme aide à la réglementation</i>	156
<i>Synthèse</i>	160
L'ANALYSE GEOGRAPHIQUE DES RISQUES.....	160
<i>Risques et territoires</i>	160
<i>L'information géographique dans les études et les modèles de risques</i>	162
RISQUES ET RESEAUX.....	169
<i>La part croissante des réseaux dans la prise en compte des risques</i>	169
<i>Définition du réseau</i>	171
<i>Les risques de réseaux et les vulnérabilités associées</i>	172
<i>L'étude des interactions des réseaux entre eux : les notions de vulnérabilité et d'agressivité</i>	180
<i>Synthèse des aspects de l'analyse des risques de réseaux</i>	182
ANNEXE 1 : LA METHODE INONDABILITE POUR LA PREVENTION DU RISQUE	
D'INONDATIONS.....	184
RAPPELS SUR LE RISQUE D'INONDATIONS ET L'AMENAGEMENT DES RIVIERES	184
PRINCIPE DE LA METHODE.....	184
L'HYDROLOGIE AU SERVICE DE L'ANALYSE DE L'ALEA	185
L'HYDRAULIQUE AU SERVICE DE L'ANALYSE DE L'ALEA	187
L'ANALYSE DE L'ALEA.....	189
L'ANALYSE DE LA VULNERABILITE	189

LA SYNTHESE RISQUE = ALEA + VULNERABILITE : LA CARTOGRAPHIE DES ZONES A RISQUES	190
CONCLUSION.....	191
ANNEXE 2 : LE DAMAGE INDEX 1999	194
LA NOTION DE RATIO DE REMPLACEMENT.....	194
LES “CENTRAL DAMAGE VALUES” (C.D.V.) OU “INDICATEURS MEDIANS DES DOMMAGES”.....	195
L’ESTIMATION DES DOMMAGES EN NOMBRE EQUIVALENT DE MAISONS.....	196
L’INDEX DES DOMMAGES.....	197
EXPLOITATION DE LA METHODE EN AUSTRALIE (AU PROFIT DE L’INSURANCE FOUNDATION)	198
ANNEXE 3 : LES DOMMAGES LIES AUX CRUES EN REGION ILE-DE-FRANCE	199
L’EVALUATION DES DOMMAGES	199
<i>Avant-propos</i>	199
<i>Introduction</i>	199
<i>Constitution d’une hydrologie de référence</i>	200
<i>Les compléments d’analyse socio-économique</i>	200
<i>Analyse de vulnérabilité en situation actuelle et évaluation des scenarii d’aménagement</i>	206
<i>Description du logiciel ALPHEE : outil d’évaluation socio-économique</i>	207
<i>Organisation de données socio-économiques et mécanique de calcul des dommages</i>	208
LES DOMMAGES ASSOCIES AUX TRANSPORTS ROUTIERS	209
<i>Contexte et objectifs de l’étude</i>	210
<i>Méthodologie</i>	210
<i>Application et résultats</i>	211
ANNEXE 4 : CARTOGRAPHIE INFORMATIVE ET CARTOGRAPHIE REGLEMENTAIRE POUR LA PREVENTION DES RISQUES D’INONDATIONS EN MIDI-PYRENEES.....	213
METHODOLOGIE POUR UNE CARTOGRAPHIE INFORMATIVE DES ZONES INONDABLES EN MIDI-PYRENEES – D’APRES LE PROFESSEUR LAMBERT	213
<i>Introduction</i>	213
<i>L’appréciation du risque d’inondation est une question d’historien</i>	213
<i>L’appréciation du risque d’inondation est une question de géographe</i>	214
<i>La cartographie informative</i>	214
DE LA CARTOGRAPHIE INFORMATIVE A LA CARTOGRAPHIE REGLEMENTAIRE – UNE DEMARCHE TECHNIQUE EN MIDI-PYRENEES.....	215
<i>Introduction</i>	215
<i>La carte hydrogéomorphologique</i>	216
<i>La cartographie des aléas</i>	216
<i>Conclusion</i>	217
CARTES ANNEXEES	218
GLOSSAIRE	223
REFERENCES.....	250

Tables

Table des figures

FIGURE 1 : COURBE DE FARMER (SOURCE : LE RISQUE MAJEUR. SECRETARIAT D'ÉTAT CHARGÉ DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA PRÉVENTION DES RISQUES TECHNOLOGIQUES ET NATURELS – DIRECTION DE L'EAU ET DE LA PRÉVENTION DES POLLUTIONS ET DES RISQUES – DELEGATION AUX RISQUES MAJEURS <i>IN</i> [52]).....	14
FIGURE 2 : PROFILS DE QUELQUES RISQUES NATURELS ET INDUSTRIELS (SOURCE : TRAFIC DES MATIÈRES DANGEREUSES SUR L'ITINÉRAIRE PILOTE DE L'AGGLOMÉRATION DE GRENOBLE, ÉVALUATION DU RISQUE. CEPN, RAPPORT N°142, P.59 <i>IN</i> [52]).....	14
FIGURE 3 : STRUCTURATION ET ORGANISATION DES DONNÉES POUR UNE ÉTUDE ACCIDENTOLOGIQUE (SOURCE : [20]).....	31
FIGURE 4 : UN EXEMPLE D'ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ : LA VILLE DE MANIZALES, COLOMBIE (D'APRÈS ANNE-CATHERINE CHARDON, 1994, <i>IN</i> [27]).....	41
FIGURE 5 : SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTES APPROCHES DE LA VULNÉRABILITÉ ET RELATIONS (SOURCE : [26]).....	42
FIGURE 6 : DÉTERMINATION DES ZONES D'EFFETS TOXIQUES (D'APRÈS [105] <i>IN</i> [10]).....	53
FIGURE 7 : L'EXPRESSION DU RISQUE EN ECOTOXICOLOGIE (SOURCE : [103]).....	57
FIGURE 8 : DÉTERMINATION DE LA CONCENTRATION SEUIL D'UN RISQUE ECOTOXICOLOGIQUE (SOURCE : [103]).....	58
FIGURE 9 : COURBE DES DÉGÂTS (OU D'ENDOMMAGEMENT) À OCCUPATION DU SOL CONSTANTE (SOURCE : [45]).....	63
FIGURE 10 : PRINCIPE DE LA SPIRALE DE L'AMÉNAGEMENT (SOURCE : [45]).....	64
FIGURE 11 : ILLUSTRATION DE LA SPIRALE DE L'AMÉNAGEMENT, PRÉVENTIF DES RISQUES D'INONDATIONS (SOURCE : [47]).....	64
FIGURE 12 : COURBE D'ISORISQUE (SOURCE : [27]).....	65
FIGURE 13 : REPRÉSENTATION DE L'ACCEPTABILITÉ DU RISQUE DANS LE PLAN PROBABILITÉ-DOMMAGES (SOURCE : [7]).....	66
FIGURE 14 : CRITÈRE D'ACCEPTABILITÉ DU RISQUE INDIVIDUEL (SOURCE : [67]).....	66
FIGURE 15 : CRITÈRE D'ACCEPTABILITÉ DU RISQUE SOCIÉTAL (SOURCE : [67]).....	67
FIGURE 16 : CONTOURS D'ISO-RISQUE INDIVIDUEL (D'APRÈS [105] <i>IN</i> [8]).....	68
FIGURE 17 : COURBE F/N DE FARMER ET ZONES DE RISQUE SOCIÉTAL (D'APRÈS [105] <i>IN</i> [8]).....	68
FIGURE 18 : MAILLON ÉLÉMENTAIRE DE LA CHAÎNE DES RISQUES (SOURCE : [9]).....	72
FIGURE 19 : COURBE DE RÉPARTITION FRÉQUENTIELLE DES NUISANCES C(N) (SOURCE : [72]).....	82
FIGURE 20 : CALCUL DU COUT MOYEN ENGENDRÉ PAR LES INONDATIONS SUR UN SECTEUR DONNÉ ET POUR UNE CRUE CONSIDÉRÉE (SOURCE : [102]).....	84
FIGURE 21 : CALCUL DU C.M.A. ET PRISE EN COMPTE DES CRUES DE FAIBLE FRÉQUENCE DE RETOUR (SOURCE : [102]).....	84
FIGURE 22 : CONSÉQUENCE DES PROJETS ENVISAGÉS – NOUVELLE COURBE FRÉQUENTIELLE DES NUISANCES (SOURCE : [72]).....	89
FIGURE 23 : EXEMPLES D'INCIDENCES DE PROJETS ET DE MESURES D'AMÉNAGEMENT SUR LE COUT DES NUISANCES DES CRUES (SOURCE : [72]).....	90
FIGURE 24 : ÉTAPES MÉTHODOLOGIQUES POUR UNE ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ ET DU RISQUE (SOURCE : [66]).....	95
FIGURE 25 : DÉCROISSANCE DE LA DISTANCE EN FONCTION DU TEMPS ET DE LA DISTANCE (SOURCE : [27]).....	108
FIGURE 26 : ALLURE DE LA FONCTION D'UTILITÉ (SOURCE : [78]).....	110
FIGURE 27 : REPRÉSENTATION DES DIFFÉRENTES LOTERIES DANS LE PLAN DES 3 LOTERIES DÉGÉNÉRÉES D_1 , D_2 ET D_3 (SOURCE : [78]).....	113
FIGURE 28 : COMPARAISON DES DEGRÉS D'AVERSION AU RISQUE DU JOUEUR SELON 2 SCÉNARIOS (FORTE / FAIBLE AVERSION) (SOURCE : [78]).....	113
FIGURE 29 : DEUX JEUX POUR TESTER L'AVERSION AU RISQUE.....	114
FIGURE 30 : ÉLABORATION D'UN P.P.R. INONDATION (SOURCE : [92]).....	131
FIGURE 31 : EXEMPLE D'INFORMATION TOPOGRAPHIQUE NÉCESSAIRE À L'ÉTUDE HYDRAULIQUE DU RISQUE D'INONDATIONS (SOURCE : [46]).....	163
FIGURE 32 : PARAMÈTRES AFFECTÉS AUX UNITÉS SPATIALES D'INTÉGRATION DANS UNE APPROCHE DE L'ÉCOSYSTÈME PAR BASSIN-VERSANT (SOURCE [1]).....	164
FIGURE 33 : SCÉNARIOS MENANT DE L'ÉVÉNEMENT INITIATEUR D'ACCIDENT À L'ÉVÉNEMENT REDOUTÉ (SOURCE : [86]).....	174

FIGURE 34 : CATEGORISATION DES VOIES URBAINES EN HOLLANDE (SOURCE : MINISTRY OF TRANSPORT, PUBLIC WORKS AND WATER MANAGEMENT : TOWARDS SAFER ROADS. DEN HAAG, 1996, 16P. <i>IN</i> [41])	177
FIGURE 35 : RESEAU VIAIRE (SOURCE : GREIBE P., NILSSON P.K., ANDERSEN K. : DUMAS EUROPEAN PROJECT. WP1 NATIONAL EXPERIENCE. NATIONAL REPORT OF DANEMARK, 1997, 57 P. <i>IN</i> [41])	177
FIGURE 36 : ILLUSTRATION DU PRINCIPE DE TRANSFERT DE RISQUE, DANS LE CADRE DES RISQUES INDUSTRIELS ET DU T.M.D.....	178
FIGURE 37 : ILLUSTRATION DU PRINCIPE DE REPORT D'ACTIVITES CONSECUTIF A UNE PERTURBATION DU RESEAU ROUTIER	180
FIGURE 38 : ORGANIGRAMME SIMPLIFIE DE LA METHODE <i>INONDABILITE</i> (SOURCE : [48]).....	185
FIGURE 39 : ALLURE DES COURBES PLUIES ET DEBITS EN FONCTION DE LA PERIODE DE RETOUR (SOURCE : [46])	186
FIGURE 40 : COURBE "DEBIT – DUREE – FREQUENCE" QDF (SOURCE : [46])	186
FIGURE 41 : PRINCIPE DES HYDROGRAMMES SYNTHETIQUES MONO-FREQUENCE (SOURCE : [46]).....	187
FIGURE 42 : REPRESENTATION TEMPORELLE DE LA LOI FONDAMENTALE DE LA CONSERVATION DES VOLUMES (SOURCE : [81]).....	188
FIGURE 43 : REPRESENTATION SPATIALE DE LA LOI FONDAMENTALE DE LA CONSERVATION DES VOLUMES (SOURCE : [81]).....	189

Table des tableaux

TABLEAU 1 : LA DEMARCHE DE PREVENTION DES RISQUES, DE L'IDENTIFICATION A LA SURVEILLANCE (SOURCE : [73]).....	16
TABLEAU 2 : PROPOSITION DE CLASSIFICATION DES RISQUES	19
TABLEAU 3 : PRINCIPES DES DEUX LOGIQUES DE TRAITEMENT DES INCERTITUDES DANS L'ETUDE DE RISQUES (SOURCE : [78]).....	29
TABLEAU 4 : IMPACT DES FACTEURS EXPLICATIFS DANS LES DIFFERENTS NIVEAUX D'ALEA DE FEUX DE FORET (SOURCE : [63]).....	36
TABLEAU 5 : VULNERABILITE DES RICHESSES ECONOMIQUES (BIENS, STOCKS, INFRASTRUCTURES) AU RISQUE D'INONDATION (SOURCE : [92])	40
TABLEAU 6 : EXEMPLE DE FACTEURS DE VULNERABILITE (SOURCE : [26]).....	43
TABLEAU 7 : EXEMPLES D'ECHELLES D'ENDOMMAGEMENT STRUCTUREL DU BATI (SOURCE : [66]).....	49
TABLEAU 8 : RELATIONS ENTRE DOMMAGES STRUCTURELS ET PERTURBATIONS FONCTIONNELLES SUR RESEAU ROUTIER – PAR REFERENCE AUX ETUDES SUR LE RESEAU ROUTIER DU DIOIS EN FRANCE (D'APRES F. LEONE) (SOURCE : [66]).....	50
TABLEAU 9 : LES STATISTIQUES SUR LES MORTS ACCIDENTELLES EN GRANDE-BRETAGNE (SOURCE : [19]).....	52
TABLEAU 10 : ACCIDENTS MORTELS DANS LES INDUSTRIES CHIMIQUE ET PETROCHIMIQUE DANS LE MONDE (SOURCE : [19]).....	53
TABLEAU 11 : EXEMPLE DE CLE DE DETERMINATION DU RISQUE A 3 NIVEAUX (SOURCE : [69]).....	54
TABLEAU 12 : CLE DE DETERMINATION DANS UN PROCESSUS AGRO-ALIMENTAIRE (SOURCE : [38])	55
TABLEAU 13 : TABLEAU D'ANALYSE DES DECISIONS RELATIVES A L'AMENAGEMENT D'UN PONT (SOURCE : [7]) .	60
TABLEAU 14 : RECAPITULATIF DES RISQUES A PRENDRE EN COMPTE DANS LA COMMERCIALISATION D'UN PRODUIT (SOURCE : [38]).....	60
TABLEAU 15 : CRITERE D'ACCEPTABILITE DU RISQUE (SOURCE : [8]).....	69
TABLEAU 16 : COUTS DIRECTS ET INDIRECTS DANS L'EVALUATION DES DOMMAGES (SOURCE : [66]).....	75
TABLEAU 17 : PARAMETRES HYDROLOGIQUES DE NUISANCE ET PREJUDICES ASSOCIES (SOURCE : [72]).....	77
TABLEAU 18 : ECHELLE DES CATASTROPHES SELON LE NOMBRE DES VICTIMES (SOURCE : [27]).....	96
TABLEAU 19 : ECHELLE DES CATASTROPHES SELON LES PERTES FINANCIERES (SOURCE : [27])	96
TABLEAU 20 : ECHELLE DES CATASTROPHES SELON LES PERTES DE BIOMASSE (SOURCE : [27]).....	97
TABLEAU 21 : ECHELLE SYNTHETIQUE DES CATASTROPHES (SOURCE : [27]).....	97
TABLEAU 22 : EXEMPLE D'ESTIMATION REGIONALE DU COUT MOYEN ANNUEL POUR LA LOIRE MOYENNE (COUTS EN MILLIONS DE FRANCS AU 3 ^{EME} TRIMESTRE 1991) (SOURCE : [101]).....	100
TABLEAU 23 : ESTIMATION DES DOMMAGES INDIRECTS CONSECUTIFS AUX INONDATIONS, PAR COMPARAISON AUX DOMMAGES DIRECTS ENREGISTRES PAR TYPE DE BIENS OU D'ACTIVITES (ÉTATS-UNIS – 1965) (SOURCE : [72]).....	100
TABLEAU 24 : DOMMAGES AUX BIENS IMMOBILIERS (MOYENNE EN FRANCS – 1994) (SOURCE : [59])	103
TABLEAU 25 : DOMMAGES AUX BIENS MOBILIERS (MOYENNE EN FRANCS – 1994) (SOURCE : [59])	103
TABLEAU 26 : FONCTIONS DE DOMMAGES (EN F) EN FONCTION DE LA HAUTEUR D'EAU H (EN CM) ET LA DUREE DE SUBMERSION D (EN HEURES) (SOURCE : [59]).....	103

TABLEAU 27 : COEFFICIENT D'ENDOMMAGEMENT GLOBAL DES BIENS IMMOBILIERS PAR ACTION DES CRUES – ENQUETE JAPONAISE DE 1967 (SOURCE : [59]).....	103
TABLEAU 28 : COEFFICIENT D'ENDOMMAGEMENT GLOBAL DES BIENS MOBILIERS PAR ACTION DES CRUES – ENQUETE JAPONAISE DE 1967 REALISEE AUPRES DE 403 FAMILLES SINISTREES (SOURCE : [59])	104
TABLEAU 29 : VALEURS RESIDUELLES DE BIENS ESTIMEES AUX ÉTATS-UNIS (EN % DE LEUR VALEUR INITIALE) (SOURCE : [59]).....	104
TABLEAU 30 : COUTS RELATIFS SUR LES BIENS MOBILIERS ESTIMES D'APRES UNE ENQUETE REALISEE AUPRES DE 90 LOGEMENTS DANS LA VALLEE DE L'ORB EN NOVEMBRE 1969 (SOURCE : [59]).....	105
TABLEAU 31 : DOMMAGES MOBILIERS ENREGISTRES POUR DIFFERENTES CRUES OBSERVEES SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS (SOURCE : [59])	105
TABLEAU 32 : FACTEURS QUI INFLUENT LA PERCEPTION DES CATASTROPHES (SOURCE : [27])	108
TABLEAU 33 : EXEMPLES D'EQUIVALENTS MONETAIRES POUR DIFFERENTS PATRIMOINES PSYCHOLOGIQUES DANS LE CADRE DU JEU DE PILE OU FACE DE NICOLAS BERNOULLI (SOURCE : [78])	111
TABLEAU 34 : LA DEMARCHE DE LA FORMATION ET DE L'INFORMATION PREVENTIVE AUTOUR DES RISQUES (SOURCE : [73]).....	117
TABLEAU 35 : CONTEXTE JURIDIQUE DE LA PREVENTION DES RISQUES EN FRANCE, DE 1982 A 1995 (D'APRES [95])	128
TABLEAU 36 : EXEMPLE DE DOSSIER COMMUNAL SYNTHETIQUE – COMMUNE DE PALAJA (AUDE) (SOURCE : [91])	130
TABLEAU 37 : EXEMPLE DE PLAN DE REGLEMENT DE P.P.R. (SOURCE : [56]).....	132
TABLEAU 38 : LES COMMUNES FRANÇAISES CONCERNEES PAR DES PROCEDURES REGLEMENTAIRES DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS AU 30 OCTOBRE 1999 (SOURCE : [73])	136
TABLEAU 39 : LA DEMARCHE DE GESTION DES RISQUES, AVANT, PENDANT ET APRES (SOURCE : [73])	140
TABLEAU 40 : MODE D'ÉVALUATION DES DOMMAGES – EXEMPLE D'UNE TEMPÊTE DE GRELE EN AUSTRALIE (SOURCE : [79]).....	142
TABLEAU 41 : REPARTITION DES PERTES MATÉRIELLES ASSURÉES EN FRANCE DANS LES ANNÉES 80 (SOURCE : [16]).....	145
TABLEAU 42 : CONTRIBUTIONS RELATIVES DES PRISES EN CHARGE DES DOMMAGES POUR 4 CATASTROPHES NATURELLES EN AUSTRALIE (SOURCE : [79]).....	145
TABLEAU 43 : REPARTITION ÉCONOMIQUE DES DOMMAGES SUITE À LA CRUE DU TARN DES 7 ET 8 DÉCEMBRE 1996 À MONTAUBAN (SOURCE : [31]).....	146
TABLEAU 44 : DEUX VISIONS DU TERRITOIRE (MORPHO-FONCTIONNELLE / SYSTEMIQUE) (SOURCE : [80])	161
TABLEAU 45 : LES DIFFÉRENTES ATTITUDES DU RISQUE PERÇU DANS LE TERRITOIRE (SOURCE : [80]).....	162
TABLEAU 46 : NATURE DES INTERACTIONS ENTRE RESEAUX (SOURCE : [86]).....	181
TABLEAU 47 : CATEGORISATION DES PREJUDICES ENGENDRES PAR LE DYSFONCTIONNEMENT D'UN RESEAU (SOURCE : [86])	181
TABLEAU 48 : MATRICE DE SYNTHESE DU RESEAU AUTOROUTIER (SOURCE : [86])	182
TABLEAU 49 : MATRICE DE SYNTHESE GENERALE POUR ONZE RESEAUX DIFFERENTS (SOURCE : [86])	182
TABLEAU 50 : VALEURS DES RATIOS DE REMPLACEMENT EN AUSTRALIE (SOURCE : [79])	195
TABLEAU 51 : C.D.V. ET DESCRIPTION DES DOMMAGES MAXIMUMS PAR CLASSE ET ALEA (SOURCE : [79]).....	196
TABLEAU 52 : VALEURS-TYPES DE L'INDEX DES DOMMAGES EN FONCTION DU NOMBRE EQUIVALENT DE MAISONS (SOURCE : [79]).....	197
TABLEAU 53 : ENJEUX STANDARDS POUR LES POSTES HABITATS (SOURCE : [61])	201
TABLEAU 54 : NOMBRE MOYEN DE NIVEAUX ASSOCIES A CHAQUE POSTE HABITAT (SOURCE : [61])	201
TABLEAU 55 : COEFFICIENTS D'ENDOMMAGEMENT A L'HABITAT (SOURCE : [61])	201
TABLEAU 56 : CATEGORIES N.A.P. RENSEIGNEES POUR L'ÉVALUATION DES DOMMAGES (SOURCE : [61]).....	203
TABLEAU 57 : GRILLE D'ENDOMMAGEMENT POUR LA CATEGORIE N.A.P. “SERVICES MARCHANDS – HOTELS – CAFES – RESTAURANTS” (SOURCE : [61]).....	204
TABLEAU 58 : EQUIVALENTS MONETAIRES DES PERTES DE TEMPS ADOPTES PAR L'I.A.U.R.I.F. (SOURCE : [61]) 206	206
TABLEAU 59 : CLASSES DE SINISTRES EN FONCTION DE LA HAUTEUR D'EAU ET DE LA DUREE DE SUBMERSION (SOURCE : [61]).....	209
TABLEAU 60 : COEFFICIENTS DE PONDERATION REPRESENTATIFS DE LA DENSITE SALARIALE DES DEPARTEMENTS D'ILE-DE-FRANCE (SOURCE : [61]).....	209
TABLEAU 61 : COEFFICIENTS DE CALCUL DU DOMMAGE JOURNALIER – VALEURS UTILISEES HABITUELLEMENT PAR L'I.A.U.R.I.F. (SOURCE : [60]).....	212
TABLEAU 62 : DOMMAGES MOYENS POUR 4 SCENARIOS TESTES (SOURCE : [60])	212

Table des cartes

CARTE 1 : EXEMPLE DE CARTES ANNEXEES AUX PLANS DE PREVENTION DES RISQUES (SOURCE : [74]).....	133
CARTE 2 : ETAT D'AVANCEMENT DE LA REALISATION DES PLANS DE PREVENTION DES RISQUES EN SEPTEMBRE 2000 (SOURCE : [74]).....	135
CARTE 3 : LOCALISATION DES COMMUNES SOUMISES AUX RISQUES D'INONDATIONS, DE MOUVEMENTS DE TERRAIN ET D'AVALANCHES (SOURCE : [73])	147
CARTE 4 : COMMUNES DU MAINE-ET-LOIRE EXPOSEES AU RISQUE INONDATION (SOURCE : [93]).....	148
CARTE 5 : EXEMPLE DE ZONAGE DE L'ALEA D'INONDATION DANS LA COMMUNE DES ABYMES, AU NORD DE POINTE-A-PITRE EN GUADELOUPE – CARTE REALISEE A PARTIR DU FOND TOPOGRAPHIQUE I.G.N. SCAN 25 (SOURCE : ATLAS COMMUNAL DES RISQUES NATURELS DE LA GUADELOUPE PROPOSE PAR LE BRGM SUR INTERNET – HTTP://WWW.BRGM.FR/RISQUES/ANTILLES/ IN [33])	149
CARTE 6 : ZONAGE DE L'ALEA DE FEUX DE FORET DANS LA COMMUNE DE PALAJA (AUDE) (SOURCE : [91])	150
CARTE 7 : ZONAGE DE L'ALEA D'AVALANCHES DANS LA COMMUNE DE BESSANS (SAVOIE) (SOURCE : [3]).....	151
CARTE 8 : ZONAGE DE L'ALEA POUR DIFFERENTS RISQUES DANS LA COMMUNE DE SAINT-ROMAIN-DE-SURIEU (ISERE) (SOURCE : [3])	152
CARTE 9 : CARTOGRAPHIE DE L'ALEA DU FEU DE FORET DANS LES COMMUNES DE L'AUDE (SOURCE : [91])	154
CARTE 10 : CARTOGRAPHIE DES HUIT ZONES FORESTIERES DU DEPARTEMENT EN TERMES DE “VULNERABILITE” (SOURCE : [91]).....	154
CARTE 11 : LE RISQUE, COMBINAISON DE L'ALEA ET DE LA VULNERABILITE (SOURCE : [69])	155
CARTE 12 : EMPRISES SPATIALES DES DIFFERENTES CRUES DANS LA COMMUNE DE GRAVIGNY, DEPARTEMENT DE L'EURE (SOURCE : HTTP://WWW.EURE.EQUIPEMENT.GOUV.FR IN [33]).....	157
CARTE 13 : EXEMPLE DE CARTE ISSUE D'UN P.I.G. POUR UN RISQUE INDUSTRIEL (SOURCE : [35]).....	158
CARTE 14 : EXEMPLE DE REGLEMENTATION SUR LES RISQUES SUR UN SUPPORT CARTOGRAPHIQUE AU NIVEAU CADASTRAL (SOURCE : [3])	158
CARTE 15 : EXEMPLE DE ZONAGE ISSU DE LA METHODE <i>INONDABILITE</i> (SOURCE : [47]).....	159
CARTE 16 : LES DECOUPAGES TERRITORIAUX ET LA REPARTITION DES DELITS (SOURCE : [17]).....	166
CARTE 17 : ANALYSE DES ACCIDENTS D'AUTOMOBILES DANS LE QUARTIER PLANA A TOULOUSE (SOURCE : [83])	169
CARTE 18 : LA METHODE <i>INONDABILITE</i> APPLIQUEE A LA VALLEE DE LA BOURBRE – SITUATION INITIALE : OCCUPATION DES SOLS ET VULNERABILITE, ZONES INONDEES ET ALEAS, SYNTHESE DU RISQUE AVANT AMENAGEMENT (SOURCE : [48])	192
CARTE 19 : LA METHODE <i>INONDABILITE</i> APPLIQUEE A LA VALLEE DE LA BOURBRE – SITUATION APRES AMENAGEMENT : L'AMENAGEMENT CONSISTE EN UNE MODIFICATION DU P.O.S. DONT ON ETUDIE L'IMPACT EN MATIERE DE RISQUE (SOURCE : [48]).....	193
CARTE 20 : EXEMPLE DE CARTOGRAPHIE INFORMATIVE DES ZONES INONDABLES AUX ENVIRONS DE FIGEAC, LOT, FRANCE (SOURCE : D.I.R.E.N. MIDI-PYRENEES)	219
CARTE 21 : EXTRAIT DE CARTE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE POUR LA COMMUNE DE VAYRAC, LOT, FRANCE (REALISATION : GEOSPHAIR – SOURCE : D.D.E.46).....	220
CARTE 22 : EXTRAIT DE CARTE DES HAUTEURS D'EAU DU P.P.R. INONDATION DE LA COMMUNE DE VAYRAC, LOT, FRANCE (REALISATION : GEOSPHAIR – SOURCE : D.D.E.46).....	221
CARTE 23 : EXTRAIT DE CARTE DES VITESSES DU P.P.R. INONDATION DE LA COMMUNE DE VAYRAC, LOT, FRANCE (REALISATION : GEOSPHAIR – SOURCE : D.D.E.46)	222

Table des formules

FORMULE 1 : EXPRESSION SCIENTIFIQUE DU RISQUE.....	54
FORMULE 2 : GENERALISATION DE LA FORMULATION MATHEMATIQUE DU RISQUE (SOURCE : [27])	65
FORMULE 3 : EXPRESSION DU COUT MOYEN ANNUEL (SOURCE : [72])	82
FORMULE 4 : ECART-TYPE SUR L'ESTIMATION DU COUT MOYEN ANNUEL (SOURCE : [72])	82
FORMULE 5 : APPROXIMATION DE L'ECART-TYPE SUR L'ESTIMATION DU COUT MOYEN ANNUEL (SOURCE : [72]).....	83
FORMULE 6 : EXPRESSION DE LA VARIATION DU BIEN-ETRE COLLECTIF DANS LE CADRE PARETIEN (SOURCE : [77])	85
FORMULE 7 : EXPRESSION DE LA VARIATION DU BIEN-ETRE COLLECTIF POUR UN EVENEMENT I DANS LE CADRE SAVAGIEN (SOURCE : [77]).....	86
FORMULE 8 : VALEUR DE LA RICHESSE EN FONCTION DU TEMPS DANS LE CADRE D'UN MODE DE DEVELOPPEMENT NATUREL (SOURCE : [72])	87

FORMULE 9 : RAPPORT “RICHESSSE A L’INSTANT T / RICHESSE INITIALE” DANS LE CADRE D’UN MODE DE DEVELOPPEMENT NATUREL (SOURCE : [72])	88
FORMULE 10 : COEFFICIENT MULTIPLICATEUR ANNUEL DE NUISANCES A FRANCS CONSTANTS DANS LE CADRE D’UN MODE DE DEVELOPPEMENT NATUREL (SOURCE : [72])	88
FORMULE 11 : EXPRESSION DE L’AVANTAGE RETIRE D’UNE POLITIQUE DE REDUCTION DES NUISANCES (SOURCE : [72])	90
FORMULE 12 : ECART-TYPE DE L’AVANTAGE RETIRE D’UNE POLITIQUE DE REDUCTION DES NUISANCES (SOURCE : [72])	91
FORMULE 13 : EXPRESSION DE LA PERCEPTION DU RISQUE (SOURCE : [19])	106
FORMULE 14 : ESPERANCE DE GAIN POUR UN JEU ALEATOIRE (SOURCE : [78])	109
FORMULE 15 : ESPERANCE DE GAIN POUR LE JEU DE PILE OU FACE DE N. BERNOULLI (SOURCE : [78])	109
FORMULE 16 : EXPRESSION DE L’UTILITE SOUS DEUX HYPOTHESES FAIBLES (SOURCE : [78])	110
FORMULE 17 : EQUIVALENT MONETAIRE DU JEU DE PILE OU FACE DE N. BERNOULLI (SOURCE : [78])	110
FORMULE 18 : PROPRIETE ARCHIMEDEENNE DES LOTERIES (SOURCE : [78])	111
FORMULE 19 : MONOTONIE DE LA FONCTION D’UTILITE (SOURCE : [78])	111
FORMULE 20 : AXIOME D’INDEPENDANCE DES LOTERIES (SOURCE : [78])	111
FORMULE 21 : THEOREME DE L’UTILITE ESPEREE DE VON NEUMANN (SOURCE : [78])	112
FORMULE 22 : DEFINITION DU RATIO DE REMPLACEMENT (SOURCE : [79])	194
FORMULE 23 : RATIO DE REMPLACEMENT EN FONCTION DU RATIO DE SURFACE (SOURCE : [79])	194
FORMULE 24 : L’EXPRESSION DES DOMMAGES SUR UN BATIMENT EN NOMBRE EQUIVALENT DE MAISONS (<i>E.M.</i>) (SOURCE : [79])	196
FORMULE 25 : LES DOMMAGES TOTAUX EN NOMBRE EQUIVALENT DE MAISONS (<i>E.M.</i>) ET EN FONCTION DU <i>C.D.V.</i> (SOURCE : [79])	197
FORMULE 26 : PREMIERE ESTIMATION DES DOMMAGES EN FONCTION DE L’EFFECTIF DE POPULATION TOUCHEE ET DU <i>C.D.V.</i> (SOURCE : [79])	198

Qu'est-ce que le risque ?

La définition du dictionnaire

Petit Robert : danger éventuel plus ou moins prévisible.

Petit Larousse : danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé.

Les deux définitions mettent en avant le double aspect du risque, à savoir le caractère aléatoire de l'événement assorti de la menace qu'il représente. Avant de poursuivre plus loin cette décomposition, illustrons notre propos de quelques exemples...

Exemples de catastrophes

Toute entreprise humaine comporte un risque, ou, pour reprendre un lieu commun qui n'en demeure pas moins vrai : *"le risque nul n'existe pas"*. Le risque correspondrait en quelque sorte à une épée de Damoclès dont la chute serait la réalisation du risque, c'est-à-dire la catastrophe.

De nombreux événements, dans autant de domaines différents, sont là pour témoigner [67] :

- **risques écologiques** :
 - l'accident de l'Exxon Valdez (côtes de l'Alaska – 1989),
 - l'assèchement de la mer d'Aral depuis les années 1960,
 - le trou de la couche d'ozone, l'effet de serre, etc.
- **risques technologiques** :
 - dans le domaine nucléaire : l'explosion de Tchernobyl (Ukraine – 1986), la fusion du réacteur de Three Miles Island (États-Unis – 1979),
 - dans le domaine industriel : les nuages toxiques des usines de Seveso (Italie – 1976), de Bhopāl (Inde – 1984), l'explosion de la plate-forme pétrolière Piper Alpha (Mer du Nord – 1988),
- **risques de transport** :
 - dans les transports civils : l'explosion en vol du Boeing de la TWA (côte est des États-Unis – 1996), l'accident ferroviaire à Eschede (Allemagne – 1998),
 - dans le transport des matières dangereuses (T.M.D.) : l'accident de Los Alfaques (Espagne – 1978) provoquant le déversement de propylène à proximité d'un camping,
- **risques économiques**, tels les krachs boursiers,
- **risques sanitaires** : le sida, le paludisme, etc.
- **risques naturels** : avalanches, inondations, tremblements de terre, cyclones, éruptions volcaniques, etc.

Au courant du deuxième semestre 1999, les exemples foisonnent :

- marée noire sur les côtes atlantiques françaises,
- accident radiologique suite à des manipulations dangereuses d'uranium au Japon,
- krach d'un long-courrier égyptien dans l'Atlantique Nord,
- pronostics pessimistes concernant la transmission de la maladie de Kreutzfeld-Jakob de l'animal à l'homme,
- inondations au Venezuela,
- tremblements de terre en Turquie et en Algérie,
- tempêtes sur l'ensemble du territoire français...

La caractérisation du risque par ses deux composantes aléa et vulnérabilité

Le risque comme produit de l'aléa et de la vulnérabilité

Les événements de ce genre sont plus ou moins fréquents et leurs conséquences plus ou moins catastrophiques sur l'homme et son environnement. Il faut éviter de focaliser la notion de risque sur la seule gravité des accidents survenus : ce serait négliger la composante aléatoire des événements dont on peut dire d'emblée qu'elle est généralement (et heureusement) inversement proportionnelle aux dégâts causés.

Ceci conduit à considérer le risque sous un double aspect :

$$\text{risque} = \text{aléa} \times \text{vulnérabilité}$$

- **aléa** : il correspond à la fréquence d'un événement ou sa probabilité d'occurrence
- **vulnérabilité** : elle représente la gravité des conséquences de l'événement sur l'ensemble des entités exposées (vies humaines, richesses, activités, environnement).

Vulnérabilité et enjeux

Le terme de vulnérabilité inclut implicitement l'existence d'enjeux, sous lesquels nous avons regroupé les vies humaines, les richesses, les activités et l'environnement. De fait, l'éventualité d'une catastrophe n'est pas à craindre si celle-ci ne menace rien.

Il faudrait rigoureusement distinguer explicitement les enjeux (valeurs exposées sur le territoire) de leur vulnérabilité propre (propension à être endommagé). Cependant, de nombreuses études de risques ont pour objectif de quantifier les dommages potentiels dans le cas de différents scénarios-catastrophes ; aussi, ces études incluent d'emblée la valeur des entités menacées (enjeux) et le niveau d'endommagement (vulnérabilité) dans le calcul même de la vulnérabilité. La vulnérabilité apparaît ainsi comme un indicateur de l'importance des dommages potentiels ("niveau de gravité") pour le phénomène redouté.

Les différents niveaux de risque

L'importance de la gravité d'un événement ne caractérise pas à elle seule le risque. En revanche, on peut distinguer trois domaines de risque en faisant intervenir à la fois fréquence et gravité [52]. Le comportement simultané de ces deux composantes est décrit par la courbe de Farmer (cf Figure 1). L'allure grossière de cette courbe met en évidence les trois domaines de risques évoqués.

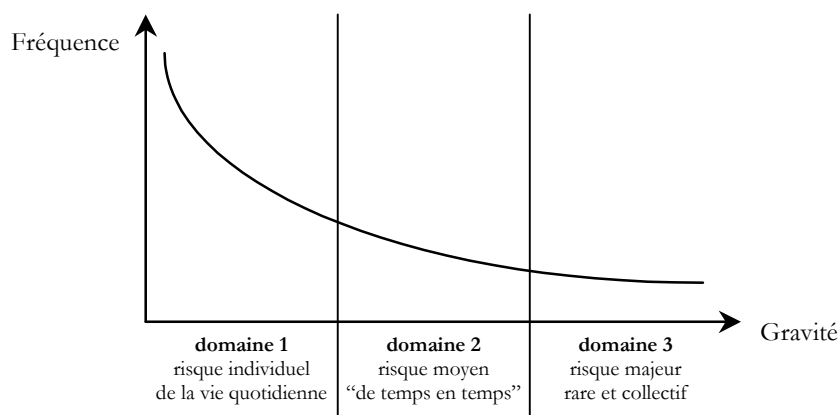


Figure 1 : courbe de Farmer (source : Le risque majeur. Secrétariat d'État chargé de l'Environnement et de la Prévention des Risques Technologiques et Naturels – Direction de l'Eau et de la Prévention des Pollutions et des Risques – Délégation aux Risques Majeurs in [52])

Cette courbe fait apparaître la notion de **risque majeur**. Celui-ci est caractérisé par [73] :

- **une faible fréquence** : l'homme et la société peuvent être d'autant plus enclins à l'ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes,
- **une énorme gravité** : nombreuses victimes, dommages importants aux biens, aux activités et à l'environnement.

La Figure 2 donne les profils de quelques risques naturels et industriels en regard de leurs probabilités d'occurrence et du nombre de décès qu'ils occasionnent :

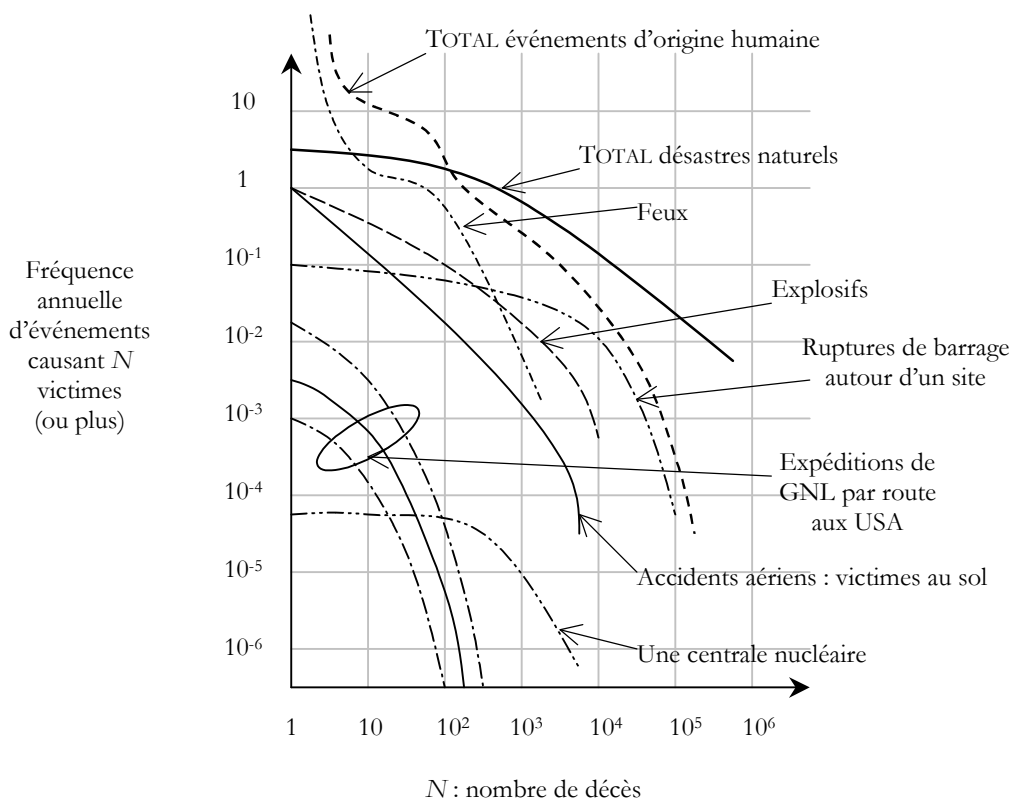


Figure 2 : profils de quelques risques naturels et industriels (source : Trafic des matières dangereuses sur l'itinéraire pilote de l'agglomération de Grenoble, évaluation du risque. CEPN, Rapport n°142, p.59 in [52])

Vocabulaire élémentaire du risque

Plusieurs termes sont associés à la notion de risque et à sa décomposition en aléa \times vulnérabilité. Nous en donnons ici les significations afin d'éviter les confusions :

- **Danger** : Menace de la sûreté ou de l'existence de personnes, de biens ou de l'environnement, source de l'accident potentiel. Contrairement au risque lui-même, le danger existe indépendamment de la présence d'unités vulnérables au sol. Il est uniquement dû à la présence d'un aléa, car il est inhérent aux effets catastrophiques du phénomène : par exemple, le danger de noyade est inhérent aux inondations et aux raz-de-marée, celui d'ensevelissement aux avalanches et celui d'écrasement à une chute de blocs ou à un éboulement. Son niveau est fonction de la probabilité d'occurrence de ce phénomène et de sa gravité.
- **Aléa** : Incertitude quant à la réalisation d'un accident. En général, l'aléa est décrit par la probabilité d'occurrence et l'intensité du phénomène.
- **Enjeux** : Personnes, biens, activités, moyens, patrimoine (etc.) susceptibles d'être affectés par la réalisation du phénomène redouté.
- **Vulnérabilité** : Niveau de conséquences prévisibles (ou gravité) du phénomène sur les entités menacées. Celui-ci est évalué par le niveau d'endommagement d'un élément exposé, soumis au phénomène redouté [65]. Dans certaines études, la vulnérabilité intègre la valeur des enjeux et correspond ainsi aux dommages potentiels consécutifs à la réalisation du phénomène.
- **Accident** : Réalisation de l'incertitude liée à l'aléa, danger avéré.
- **Dommages** : Dégâts, perturbations et préjudices constatés à la suite de l'accident.

Le risque naît du danger. Il existe ainsi à travers l'éventualité d'un phénomène dangereux (aléa) et dans la mesure où les populations, les richesses, les activités et l'environnement (enjeux) peuvent être endommagés ou détruits (vulnérabilité). La réalisation du risque correspond à l'accident, celui-ci ayant pour effet de provoquer des dommages.

Exemple : si l'événement considéré est une crue centennale :

- le danger est la crue elle-même, caractérisée par l'ensemble de ses facteurs explicatifs,
- l'aléa correspond à la probabilité de réalisation annuelle (ici 1/100) et se matérialise par l'intensité de la crue,
- l'enjeu correspond aux ressources menacées par la crue et à leur valeur,
- la vulnérabilité correspond au niveau d'endommagement de chacun des enjeux, étant donnée l'ampleur de la crue,
- l'accident est la réalisation effective de la crue,
- les dommages sont les dégâts, perturbations et préjudices déplorés, suite à la crue constatée.

Correspondance probabiliste

Mathématiquement, lorsque l'on intègre la notion de risque à un problème décisionnel, le risque devient une variable d'état du système considéré (par exemple : l'aménagement d'un cours d'eau, le système de protection d'une centrale, etc.). La gestion du système étant associée à une décision a parmi un ensemble \mathcal{A} de décisions et l'événement dommageable considéré étant noté E , le risque se décompose alors en deux grandeurs mathématiques, conditionnellement à la décision a , à savoir [7] :

$$\begin{cases} P_a(E) : \text{probabilité de } E \text{ donné } a \\ D_a(E) : \text{dommage résiduel de } E \text{ donné } a \end{cases}$$

qui ne sont autres que l'aléa et la combinaison enjeux-vulnérabilité, conditionnellement à a .

Les domaines du risque

La notion de risque telle que l'on vient de la présenter s'articule naturellement autour de 3 volets [45] :

- la prévention du risque,

- la prévision du risque et la gestion de crise,
- la culture du risque.

La **prévention du risque** englobe les actions et mesures tendant à empêcher la réalisation du risque. Par inférence de la décomposition du risque en $\text{aléa} \times \text{vulnérabilité}$, la prévention consiste à diminuer la probabilité d'occurrence de l'événement considéré ou à mettre en place des systèmes visant à en réduire les conséquences. Il s'agit d'un travail à long terme.

Le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement [73] distingue 4 volets dans la prévention du risque, conformément au Tableau 1.

P R E V E N T I O N D E S R I S Q U E S	CONNAISSANCE DES RISQUES (nature, localisation, importance, enjeux, prévision)	CONNAISSANCE DES PHENOMENES	Recherche, étude de chaque risque, méthodes, modèles de prévision
		CONNAISSANCE DE L'ALEA	Le fichier national du risque La carte de l'ALEA
		ENJEUX LOCAUX	Humains, socio-économiques, écologiques : CARTE DES ENJEUX
		CONNAISSANCE LOCALE DU RISQUE	LA CARTE DU RISQUE, études d'impacts, de dangers...
PROTECTION ET PARADES		PREVENTION DES ACCIDENTS	Etudes des dangers : analyse des risques, mesures de protection, contrôle des installations
		EVACUATION	Construire ailleurs
		PARADES ACTIVES	REDUCTION DE L'ALEA Empêcher la réalisation du phénomène
		PARADES PASSIVES	REDUCTION DE LA VULNERABILITE Réduire les conséquences de l'événement, protéger ou adapter les constructions
AMENAGEMENT ET ENVIRONNEMENT		ASSURANCE ET REASSURANCE	PARADES FINANCIERES : Financement des conséquences de l'événement
		PLANIFICATION DES ZONES A RISQUES	Périmètre du risque : P.E.R., P.S.S., R 111, P.I.G. Documents d'urbanisme : S.D.A.U., P.O.S.
		CONSTRUCTION ET ACTIVITES	Autorisation de construire : certificats d'urbanisme, Z.A.C., lotissement P.C., installations classées
SURVEILLANCE		RISQUES NATURELS : OBSERVATION ET PREVISION	Capteurs, modèles météo, etc... Annonce de crues
		RISQUES TECHNOLOGIQUES : DETECTION	Surveillance des barrages, centrales nucléaires Détecteurs de fumée, etc...

Tableau 1 : la démarche de prévention des risques, de l'identification à la surveillance (source : [73])

La **prévision du risque** tente d'anticiper la réalisation effective du risque par des procédés scientifiques, afin d'en optimiser la **gestion** – avant, pendant et après la crise. Il s'agit d'un travail à court terme.

La **culture du risque** (ou l'éducation au risque) vise à favoriser la prise de conscience du risque par les populations, notamment lorsque la crise survient.

Les études de risques

Vers une prise en compte accrue des risques

Des études de risques sont de plus en plus fréquemment menées, que ce soit par les collectivités locales et l'État (en particulier lorsqu'il s'agit de risques naturels) ou par les privés (lorsqu'ils sont impliqués dans des activités humaines comportant des dangers). Cette attention récente portée aux risques s'explique par [71] :

- la connaissance relative de leur mécanisme,
- la progression de leur caractère socialement inacceptable.

Une façon d'illustrer ce propos consiste à comparer une avalanche de 1900 avec une avalanche de nos jours [29]. Il y a un siècle, l'avalanche apparaissait comme une fatalité naturelle devant laquelle on devait s'écarter. Aujourd'hui, elle est devenue un risque et c'est donc à elle de s'écarter. Elle implique des travaux de prévision et de prévention (cartographie, modélisation, défense active/passive...). D'un point de vue social, chacun des morts enregistrés à la suite d'une avalanche est perçue comme une défaite humaine et prend des ampleurs de scandales.

La pluridisciplinarité des études de risques

Prévention, prévision et culture du risque s'articulent autour de quatre "univers" [71] :

- scientifique,
- sociétal,
- politico-administratif,
- judiciaire.

L'approche scientifique s'attache à estimer et évaluer le risque. Il s'agit d'identifier les facteurs explicatifs de l'événement, de mesurer leur probabilité d'occurrence et leur magnitude. Les estimations peuvent provenir de constatations empiriques ou de modèles issus de relations causales supposées. Les applications de ces recherches s'inscrivent dans les volets "prévention" et "prévision" du risque.

L'approche sociétale étudie la construction de la perception sociale du risque, elle évalue l'acceptabilité individuelle et sociale du risque. En ce sens, elle est directement rattachée à l'aspect "culture du risque".

L'approche politico-administrative vise, d'une part à mettre en place des actions publiques spécifiques en faveur de la prévention du risque, d'autre part à enclencher des processus de décision adaptés en gestion de crise. Ces deux niveaux d'intervention impliquent différents acteurs, institutions et procédures qui font appel à des organisations particulières.

L'approche judiciaire s'efforce d'imputer au mieux les responsabilités dans la gestion du risque mais aussi d'évaluer rétrospectivement l'action publique à travers les différents acteurs extérieurs (media, juges, victimes et experts). Dans ce domaine, la tendance actuelle consiste à assimiler une mort évitable à un crime.

Plan de l'exposé

Dans les lignes qui suivent, nous nous pencherons en particulier sur la prévention des risques dont l'action s'étend de l'identification même des risques jusqu'à la prise de décision. Les étapes de la démarche de prévention sont :

- la structuration du problème par identification, au niveau local, des sources de risque : il s'agit d'un examen des dangers – c'est-à-dire des possibilités physiques de survenance d'événements – appelé **hazard analysis** ;
- les estimations quantitatives des probabilités d'occurrence des événements considérés (aléas) ainsi que de leurs conséquences (vulnérabilité) : il s'agit du **risk analysis** ;
- la **prise de décision** des politiques en matière d'aménagements et de réglementations afin de concilier au mieux minimisation des dommages éventuels et investissements de protection et de sécurité.

Autour des recherches concernant la prévention des risques, nous nous attacherons en premier lieu à tenter d'établir une classification des risques.

En termes mêmes de prévention, nous expliciterons les méthodes de détermination de l'aléa, de la vulnérabilité et enfin de quantification du risque.

Nous aborderons également la notion de risque sous ses aspects sociologiques, historiques et culturels, au travers de la perception du risque par les populations d'une part, et au travers de l'éducation, la culture et la mémoire du risque d'autre part.

Nous consacrerons ensuite une partie de notre étude à la gestion administrative des risques telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui en France.

Nous terminerons enfin notre exposé en analysant la dimension géographique des risques, et nous nous pencherons en particulier sur l'accroissement de vulnérabilité induit par l'organisation des réseaux (réseaux de transport, d'énergie et de communication).

Classification des risques

Les catégories de risques

Nous proposons ici de dresser une liste détaillée des différents risques, recensés à divers niveaux d'intervention et regroupés en 4 catégories (cf Tableau 2), qui ne sont pas sans se recouper partiellement [30][73].

Catégorie de risque		Risque
Risques naturels		inondations
		feux de forêt
		mouvements de terrain
		avalanches
		séismes
		volcans
Risques technologiques		cyclones, tempêtes
		risques industriels
		risques de ruptures de barrage
		risques de transports de matières dangereuses
Risques urbains	Risques bâtimentaires	risques nucléaires
		menace de ruines
	Risques de réseaux	risques diffus (chantiers, matériaux...)
		transports
		communication
	Risques de société	énergie (gaz, électricité, eau...)
		menaces pour la tranquillité publique, la sécurité des personnes
		menaces pour la sécurité des biens
		risques diffus (manifestations, fêtes, grèves...)
Risques sanitaires et environnementaux	conflits, attentats	
	toxicité, pollutions	
	insalubrité, épidémies, maladies	
		risques alimentaires

Tableau 2 : proposition de classification des risques

Parmi cette liste, les risques considérés par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement sont exclusivement les risques naturels et les risques technologiques – à ceci près que la prise en charge des risques de tempêtes et de cyclones n'est effective que pour les départements et territoires d'outre-mer. Cette considération n'empêche pas la profusion de réglementations, contrats et plans d'action pour les autres types de risques comme nous le verrons plus loin.

Pour mémoire, on notera enfin que le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement classe de manière différentes les risques [73]. Il distingue en effet trois catégories de risques majeurs (les risques naturels, les risques technologiques, les risques de transport collectif) et deux catégories de risques "autres" (les risques de la vie quotidienne, les risques liés aux conflits).

Dans les lignes qui suivent, nous allons donner des éclaircissements sur l'ensemble des risques évoqués.

Les risques naturels

Les inondations

Définition

Une inondation est une submersion plus ou moins rapide d'une zone, avec des hauteurs d'eau variables ; elle est provoquée par des pluies importantes [91].

Comment se manifeste une inondation ?

Une inondation peut être le fait [75] :

- soit de **ruissellements localisés** lors d'épisodes orageux (*ex.* : Nîmes) ;
- soit de **stagnations en plaine**, suite à des pluies étalées et durables ;
- soit de **débordements de fleuves** ou de rivières en crue (*ex.* : Vaison-la-Romaine) ;
- soit de **remontées de nappes phréatiques**.

Les facteurs aggravants des inondations

L'ampleur de l'inondation est fonction de [75][91] :

- l'intensité et la durée des précipitations ;
- l'importance de la surface et de la pente du bassin versant ;
- la couverture végétale et la capacité d'absorption du sol ;
- le mauvais entretien de certains cours d'eau et de certains ouvrages hydrauliques ;
- la présence d'obstacles à la circulation des eaux.

Elle peut être aggravée à la sortie de l'hiver par la fonte des neiges.

De manière générale, on déplore aujourd'hui que les inondations soient des phénomènes plus fréquents et plus dommageables. De fait, la répétition et l'aggravation des inondations sont dues à l'accroissement de la population urbaine et l'extension des constructions sur les plaines alluviales (bas des versants, lits majeurs des cours d'eaux voire lits moyens). Celle-ci a été encouragée par la mise en place d'aménagements de protection et les bas prix des terrains. Cette nouvelle disposition a à la fois créé l'objet du risque (population et infrastructures exposées) et modifié ses conditions (modification des sols, favorisation du ruissellement) [44].

Les feux de forêt

Définition

Les feux de forêts sont des incendies qui se déclarent et se propagent sur une surface d'au moins 1 hectare de forêt, de maquis, ou de garrigue [93].

Comment un feu de forêt survient-il ?

Pour se déclencher et progresser, le feu a besoin des trois conditions suivantes [91][93] :

- **une source de chaleur** (flamme, étincelle) : très souvent, l'homme est à l'origine des feux de forêts par imprudence (travaux agricoles et forestiers, cigarettes, barbecues, dépôts d'ordures...) accident ou malveillance ;
- **un apport d'oxygène** : le vent active la combustion ;
- **un combustible** (végétation) : le risque de feu est davantage lié à l'état de la forêt (sécheresse, disposition des différentes strates, état d'entretien, densité, relief...) qu'à l'essence forestière elle-même (chênes, conifères...).

L'étude du risque de feu de forêt

La complexité de l'étude des feux de forêt repose en partie sur [63] :

- la connaissance exacte des facteurs contribuant aux phénomènes,
- la prise en compte raisonnée et séparée des phénomènes d'éclosion et de propagation des feux,
- la diversité des massifs touchés en termes de peuplements (sites classés, sites inscrits, arbres et peuplements remarquables, etc.).

Les mouvements de terrain

Définition

Un mouvement de terrain est un déplacement plus ou moins brutal du sol ou du sous-sol; il est fonction de la nature et de la disposition des couches géologiques. Il est dû à des processus lents de dissolution ou d'érosion favorisés par l'action de l'eau et de l'homme [91][93].

Les mouvements de terrain peuvent se traduire par des chutes de blocs, des éboulements en masse ou des glissements de terrain [75].

Comment les mouvements de terrain se manifestent-ils ?

Les mouvements de terrain peuvent être successifs à [91] :

- **en plaine** :
 - un affaissement plus ou moins brutal de cavités souterraines naturelles ou artificielles (mines, carrières...),
 - des phénomènes de gonflement ou de retrait liés aux changements d'humidité de sols argileux (à l'origine de fissurations du bâti),
 - un tassement des sols compressibles (vase, tourbe, argile...) par surexploitation ;
- **en montagne** :
 - des glissements de terrain par rupture d'un versant instable,
 - des écroulements et chutes de blocs,
 - des coulées boueuses et torrentielles ;
- **sur le littoral** :
 - des glissements ou écroulements sur les côtes à falaises,
 - une érosion sur les côtes basses sableuses.

Les avalanches

Définition

On distingue trois types d'avalanches [4] :

- **les avalanches de poudreuses** : elles sont le résultat de dévalement de couches épaisses et peu cohérentes de neige issues de fortes précipitations neigeuses ;
- **les avalanches de type "plaque à vent"** : il s'agit de neiges plus ou moins récentes qui forment un manteau "mille feuilles" pouvant être emporté par le simple passage d'un skieur ;
- **les avalanches de neige humide** : elles proviennent du redoux et de la fonte des neiges du printemps, les pluies infiltrent le manteau neigeux provoquant ainsi des coulées de neige dans des couloirs.

Les menaces de la neige

D'une manière plus générale, la neige provoque des nuisances sur plusieurs plans bien distincts [7] :

- la viabilité hivernale : la neige menace la praticabilité des routes ;
- la surcharge imposée : la neige peut causer des dégâts aux bâtiments et aux équipements divers en provoquant une surcharge ;

- les avalanches.

Les entités menacées se répartissent en 4 catégories :

- les lieux habités,
- les voies de communication,
- les domaines skiables,
- les aménagements industriels (barrages, lignes électriques, etc.).

Les séismes

Définition

Un séisme est une fracturation brutale des roches en profondeur créant des failles dans le sol ou en surface, et se traduisant par des vibrations du sol transmises aux bâtiments. Les dégâts observés sont fonction de l'amplitude, de la durée et de la fréquence des vibrations [91].

Caractéristiques des séismes

Un séisme est caractérisé par [91] :

- **son foyer** (hypocentre) : c'est le point de départ du séisme, c'est à dire la région de la faille d'où partent les ondes sismiques (à plusieurs kilomètres en profondeur) ;
- **sa magnitude** (Échelle de Richter de 1 à 9) : unique pour un même séisme, elle mesure l'énergie libérée par celui-ci ;
- **son intensité** (Échelle MSK de I à XII) : variable selon les lieux en fonction, par exemple, de la distance par rapport au foyer ou de la nature du sol, elle mesure les dégâts provoqués en un lieu donné ;
- **la fréquence et la durée des vibrations** : ces deux paramètres ont une incidence fondamentale sur les effets en surface ;
- **la faille provoquée** (verticale ou inclinée) : elle peut se propager en surface.

Les volcans

Définition

Un volcan est une ouverture mettant en relation la surface du globe avec les profondeurs, permettant à des matériaux terrestres de venir s'épancher en surface (sous forme de laves, gaz...).

Ce phénomène est intermittent, les phases d'émission alternant avec des phases de sommeil qui peuvent être très longues (jusqu'à plusieurs centaines d'années) : le volcan est dit vivant.

Un volcan est considéré comme éteint si le temps écoulé depuis sa dernière éruption est très supérieur à la moyenne des périodes de sommeil passées : cela ne veut pas dire qu'il ne puisse se réveiller un jour [73].

Les différents types d'éruptions volcaniques

Il existe plusieurs sortes d'éruptions :

- **les éruptions magmatiques** : le magma, roche fondue contenant des gaz, dissous, monte à la surface où il se sépare en lave et en gaz,
- **les éruptions phréatiques** : libération soudaine d'une grande quantité de vapeur d'eau, à pression et température élevées, provoquant l'éjection de matériaux de toutes tailles (blocs et poussières),
- **les éruptions phréatomagmatiques** : elles sont dues à la rencontre du magma ascendant avec une nappe phréatique ou une eau superficielle (lac, cours d'eau...) – le magma sort en même temps que l'eau,
- **les lahars** : coulées boueuses volcaniques,
- **les éruptions gazeuses carboniques**.

Le risque volcanique en France

En France, le risque volcanique est localisé dans les départements et territoires d'outre-mer (avec la Montagne Pelée en Martinique, la Soufrière en Guadeloupe et le Piton de la Fournaise à la Réunion) et également en Auvergne où les volcans ne sont pas considérés comme éteints.

Les tempêtes

Définition

Les tempêtes constituent une catégorie de vents violents, mesurés par l'échelle de "Saffir-Simpson". Physiquement, elles sont le résultat de l'interaction [73] :

- d'une **petite perturbation** véhiculée au sein d'un courant de vent violent et glacé,
- et d'un **tourbillon de la basse atmosphère** alimenté en eau et en chaleur par l'océan.

Sur le littoral, une tempête peut se manifester – en plus des effets dus aux vents violents eux-mêmes – par un effet de destruction par les vagues des ouvrages de protection (digues) et des bâtiments proches du front de mer, ainsi que par un effet d'inondation par accumulation des eaux et éventuellement remontée d'eau dans les réseaux pluviaux [91].

Les paramètres pertinents dans l'étude des tempêtes

En pratique, les tempêtes ne sont pas attendues au cœur des terres françaises mais sur le littoral atlantique, principalement en Bretagne et en Normandie. De fait, on attache beaucoup d'importance [75] à :

- la chute de pression barométrique,
- l'orientation des vents (vents venant de la mer),
- la valeur du coefficient de marée.

Les tempêtes dévastatrices de Noël 1999 sur tout l'ensemble du territoire français ont accru la prise en compte du phénomène à l'intérieur des terres.

Les risques technologiques

Les risques industriels

Définition

Le risque industriel peut se définir [91][93] comme tout événement accidentel se produisant sur un site industriel et entraînant des conséquences immédiates graves pour les populations avoisinantes, les biens ou l'environnement. Sont donc concernées toutes les activités nécessitant des quantités d'énergie ou de produits suffisamment importantes pour qu'en cas de dysfonctionnement, la libération intempestive de ces énergies ou produits ait des conséquences au-delà de l'enceinte de l'usine.

Afin d'en limiter la survenue et les conséquences, les établissements les plus dangereux sont soumis à une réglementation stricte et à des contrôles réguliers.

Les manifestations du risque industriel

Certaines entreprises, de par les produits qu'elles fabriquent ou qu'elles stockent, peuvent présenter [75][91] :

- **un risque d'incendie** (effet de chaleur) :

Ce risque peut entraîner brûlures et asphyxie, suite à l'inflammation des produits :

- soit au contact d'autres produits,
- soit au contact d'une flamme ou d'un point chaud.

- **un risque d'explosion** (projectiles et effet de souffle) :

Ce risque peut entraîner des traumatismes directs ou par l'onde de choc ; il est dû :

- soit à la libération brutale de gaz,
- soit au mélange de certains produits,
- soit à la présence de produits explosifs.

- **un risque de pollution** :

- de l'air (nuage toxique) : c'est le risque le plus grave pour les populations éloignées du site ;
- du sol ou de l'eau.

La toxicité des produits dangereux peut se révéler par inhalation (en les respirant), par ingestion (en les avalant) ou par contact (en les touchant).

Parfois, plusieurs de ces risques sont combinés pour une même usine.

Les ruptures de barrage

Définition d'un barrage

Un barrage est un ouvrage naturel ou artificiel, généralement établi en travers d'une vallée, transformant en réservoir d'eau un site naturel approprié. Si la hauteur est supérieure ou égale à 20 m et la retenue d'eau supérieure à 15 millions de m³, il est appelé "grand barrage".

Les barrages servent principalement à la régulation des cours d'eau, à l'alimentation en eau des villes, à l'irrigation des cultures, au soutien d'étiage, à la production d'énergie électrique et au tourisme et aux loisirs [93].

Le risque de rupture de barrage

Le risque de rupture brusque et imprévue est aujourd'hui extrêmement faible [91] ; la situation de rupture pourrait plutôt venir de l'évolution plus ou moins rapide d'une dégradation de l'ouvrage. Une rupture progressive laisserait le temps de mettre en place les procédures d'alerte et de secours des populations.

En revanche, une rupture partielle ou totale brusque produirait une onde de submersion très destructrice dont les caractéristiques (hauteur, vitesse, horaire de passage...) ont été étudiées en tout point de la vallée. Dans cette zone et plus particulièrement dans la zone "du quart d'heure" (zone dans laquelle l'onde mettrait moins d'un quart d'heure pour arriver), des plans de secours et d'alerte ont été établis dès le projet de construction du barrage.

Il convient enfin de noter que les séismes n'ont jamais provoqué de dégâts sérieux sur des barrages, qu'ils soient en remblai ou en maçonnerie ; cette observation s'est à nouveau confirmée lors des récents séismes d'Arménie en 1988 et de Californie en 1989.

Les facteurs menaçant l'ouvrage sont [42] :

- les accidents géologiques dont le poids de l'eau retenue en est parfois la cause (*ex.* : glissements de terrain),
- la perturbation du fonctionnement de la rivière (crues moins fréquentes surprenant les riverains),
- la libération potentielle de la quantité d'eau retenue.

Les transports de matières dangereuses

Définition

Le risque de transport de matières dangereuses est consécutif à un accident se produisant lors du transport, par voie routière, ferroviaire, aérienne, d'eau ou par canalisation, de matières dangereuses. Il peut entraîner des conséquences graves pour la population, les biens ou l'environnement.

Les produits dangereux sont nombreux ; ils peuvent être inflammables, toxiques, explosifs, corrosifs ou radioactifs [93].

La manifestation des accidents de T.M.D.

Les principaux dangers liés aux T.M.D. sont [91] :

- **l'explosion** occasionnée par un choc avec étincelle, par le mélange de produits avec des risques de traumatisme direct ou par l'onde de choc,
- **l'incendie** à la suite d'un choc, d'un échauffement ou d'une fuite avec des risques de brûlures et d'asphyxie,
- **la dispersion** dans l'air (nuage toxique), l'eau et le sol **de produits dangereux** avec risques d'intoxication par inhalation, par ingestion ou par contact, sans oublier les risques pour l'environnement (animaux et végétaux) du fait de la pollution du sol ou de l'eau (contamination).

Ces manifestations peuvent être associées.

Les risques nucléaires

Définition

Le risque nucléaire est un événement accidentel mettant en jeu des matières radioactives (classiquement dans une centrale nucléaire), avec des risques d'irradiation ou de contamination pour le personnel, les populations avoisinantes, les biens ou l'environnement. Le risque nucléaire majeur est la fusion du cœur du réacteur d'une centrale nucléaire [93].

Caractéristiques du risque nucléaire

En cas d'accident majeur, les risques sont de deux ordres [93] :

- **risques d'irradiation** par une source radioactive : en France, ce risque ne concerne que le personnel de la centrale ;
- **risque de contamination** par les poussières radioactives dans l'air respiré (nuage) ou déposées sur le sol (aliments frais, objets).

Les conséquences pour l'individu sont fonction de la dose absorbée (durée d'exposition, proximité de la source radioactive...). On se protège de l'irradiation par des écrans (plomb, métal) et de la contamination par le confinement.

Quelques remarques sur les risques urbains

Les risques gérés au sein des agglomérations regroupent [51] :

- les risques naturels,
- les risques technologiques – dont notamment les T.M.D.,
- les risques de réseaux,
- les risques sociaux, les incivilités,
- les risques de déplacements,
- les risques sanitaires,
- les risques domestiques, etc.

Il est clair que la dénomination de “risque urbain” est floue lorsque l'on constate l'importance entre autre des risques naturels et technologiques pris en compte au sein des villes. Parmi la liste énoncée ci-dessus, nous ne retiendrons donc comme “risques urbains” que ceux relevant exclusivement du domaine de la ville et de son activité.

Les risques bâtimentaires

Il peut s'agir de menaces de ruines ou de risques plus diffus tels que les risques d'amiante, de feux de bâtiments, de rejets toxiques, de sols pollués, etc.

Actuellement, les villes se reconstruisent sur elles-mêmes plus qu'elles ne s'étendent. Les problèmes d'aménagement sont essentiellement posés par les terrains les moins chers – en particulier les friches urbaines (classiquement résultant d'usines laissées à l'abandon). Leur conversion est coûteuse : démolition, dépollution, redécoupage des îlots, création d'équipements, etc. De tels terrains, qu'ils soient à l'abandon ou en cours de réhabilitation présentent des menaces pour les parcelles avoisinantes [104].

Les risques de réseaux

L'exploitation de réseaux techniques (eau, électricité, gaz) en milieu urbain pose plusieurs problèmes de sécurité liés au confinement, aux interactions avec l'environnement et les populations, à la prévention, etc.

Les risques induits peuvent être directement dus à des défauts de conception et d'implantation, ou à des défaillances dans la maintenance et l'exploitation [100].

Par ailleurs, l'indisponibilité provisoire d'un réseau (d'énergie, de transport ou de communication) est susceptible de paralyser les parties du territoire dont le fonctionnement est tributaire de ce réseau. Les dommages en chaîne provoqués par ces perturbations sont souvent du même ordre de grandeur que les dommages occasionnés directement par l'action physique du phénomène [54].

Les risques de réseaux sont plus amplement traités dans le chapitre qui leur est consacré à la fin de cet ouvrage.

Les risques “de société”

Les problèmes liés aux sociétés urbaines modernes sont hélas nombreux. Sur la base des faits constatés (c'est-à-dire soumis au parquet), les services de police recensent depuis 1972 par villes et par départements les débordements divisés en 5 catégories [17] :

- atteintes aux biens (en pratique, les 2/3 des faits) ;
- violences et atteintes aux personnes ;
- atteintes à la paix publique (destructions, incendies...) ;
- infractions à la législation sur les stupéfiants ;
- autres...

La délinquance recoupe l'ensemble de ces actes. Elle se distingue des autres risques précédemment abordés par son caractère intentionnel. L'insécurité engendrée dans les villes se définit au travers de 4 niveaux [17] :

- la représentation : “représenter” l'insécurité est le moyen d'en faire une préoccupation ;
- la perception liée à l'environnement quotidien de l'individu : la pression, l'exposition et la vulnérabilité au phénomène jaugent la délinquance telle qu'elle est ressentie par les populations ;
- la victimation déclarée : elle est mesurée par des enquêtes et permet de mieux cerner la délinquance ;
- l'enregistrement par les institutions officielles : elle aboutit à la réalisation de statistiques.

Les risques sanitaires et environnementaux

Les risques de toxicité et de pollutions

L'ampleur des risques de pollution

La pollution et la toxicité ont déjà été abordées à l'occasion des risques technologiques industriels. Nous avons pris le parti d'évoquer à nouveau ce problème à propos des risques sanitaires et environnementaux afin de donner un éclairage du point de vue de la victime : l'homme. De fait, les populations nuisibles à l'homme et à l'environnement ne sont pas uniquement industrielles ou nucléaires. Elles peuvent aussi être [68] :

- domestiques,
- urbaine : lavages, commerces, artisanats, bâtiments scolaires, hôpitaux, eaux de pluie...
- ruissellement autoroutier en rase campagne, travaux, déversements accidentels, entretien, salage, déversements habituels (pneus, zinc, cadmium, hydrocarbures, oxydes d'azote, plomb...),
- agricoles, etc.

Les types de pollution

Généralement, on distingue 3 types de pollution :

- **physique** : matières en suspension,
- **chimique** : substances en solution,
- **thermique** : accroissement de la température dû à des circuits de refroidissement (exemple : centrales énergétiques),

auxquels nous avons ajouté la pollution par le bruit ou “pollution **phonique**” (cf remarque en fin de partie).

Quels qu'en soient les types, les pollutions conduisent parfois à l'évacuation de plusieurs milliers de personnes ou à de lourds programmes de réhabilitation de sites pollués. Citons – pour clore le sujet – les problèmes de pollutions induites qui transfèrent la pollution d'un site à un autre : *“C'est un peu l'aventure bien connue du sapeur Camember qui ayant creusé un trou pour y mettre des ordures, puis un deuxième trou pour y mettre la terre du premier, se trouve devant un problème insoluble... du moins à son échelon.”* Par exemple, une mise en décharge peut provoquer des infiltrations dans le sol, et à terme, la présence de substances organiques et de substances toxiques dans les nappes phréatiques.

La gestion des risques de pollution

Ces types de risques bien définis appellent une gestion raisonnée de l'espace, des milieux et des peuplements. Ce n'est pourtant pas chose aisée, et ce à tous les niveaux – par exemple pour le risque de pollution atmosphérique [89] :

- physiquement : la pollution atmosphérique est définie par rapport aux risques qu'elle induit (et non à un niveau physico-chimique),
- causalement : l'aléa anthropique (émissions de gaz carbonique) est bien plus déterminant que l'aléa naturel (conditions climatiques),
- politiquement : d'une part au niveau des délais d'intervention (le temps est “concevable” mais dépasse les délais électoraux), d'autre part au niveau de l'ampleur de l'action à mener (la politique doit être planétaire),
- spatialement : il n'existe pas de territoire pertinent pour l'étude – à la différence de l'eau, l'air n'a pas de frontières et l'approche spatiale du phénomène consiste à considérer un emboîtement d'échelles.

Remarque concernant le risque induit par le bruit

L'évocation du bruit peut paraître saugrenu dans ce paragraphe parmi les pollutions physique, chimique et thermique. Cependant, les nuisances occasionnées par le bruit sont de plus en plus mal supportées par les citoyens, et étant donnée l'ampleur du phénomène, on parle volontiers de “pollution par le bruit”. Celle-ci est aujourd'hui la source de “pollution” dont souffrent le plus les Français.

Les risques d'épidémies et de maladies

La prise en compte de tels risques est sans doute à la mesure des menaces qu'ils représentent mais aussi de l'émotion qu'ils suscitent [71].

De tels risques regroupent non seulement les maladies et problèmes sanitaires des dernières décennies (vache folle, V.I.H., amiante, hépatite...) mais également les controverses autour de risques potentiels (telles les manipulations génétiques). La tendance actuelle est à la prise en compte exhaustive de tous les

événements indésirables pouvant affecter la santé des individus, que cela concerne les systèmes de soins ou l'alimentation (cf paragraphe suivant).

L'étude des risques de maladies appelle une connaissance scientifique et médicale pointue des mécanismes mis en jeu mais également une appréhension de la perception sociale du risque, qui explique en partie les processus de contamination, transmission et prévention autour de la maladie.

Les risques alimentaires

Le danger sous-jacent aux risques alimentaires est la présence d'un agent biologique, chimique ou physique ayant un potentiel de provoquer des effets néfastes pour la santé (risque sanitaire) ou la qualité (risque technologique) dans un aliment ou un groupe d'aliments [38].

Par exemple : une aiguille dans les rillettes de porc, un fongicide sur des cannettes de soda, de la *Listeria Monocytogenes* dans les fromages au lait cru, etc. Ici aussi, l'aspect social du risque prend une dimension importante, à la mesure de la médiatisation et des boycotts à la suite de cas d'empoisonnements alimentaires.

La composante aléa : traitement des incertitudes et aspects probabilistes des risques

Il y a deux manières d'aborder la quantification des incertitudes dans le domaine des risques [78] :

- **interprétation fréquentiste du risque** : la probabilité de survenue d'un événement est estimée par sa fréquence empirique d'occurrence \Rightarrow il s'agit d'un schéma de logique déductive ;
- **interprétation subjective des probabilités** : à partir des effets observés, il s'agit de déterminer la probabilité de chacune des causes envisageables, pondérées par la crédibilité qui leur est accordée \Rightarrow il s'agit d'un schéma de logique inductive.

Le Tableau 3 retrace les grandes lignes de ces deux courants :

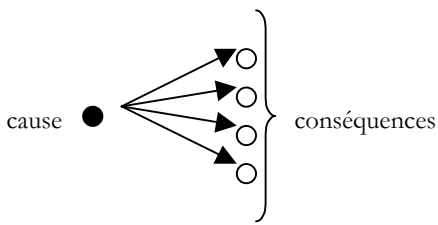
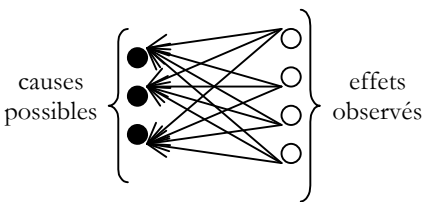
	Logique déductive	Logique inductive
schéma de raisonnement		
principes mathématiques associés	<p>Loi des grands nombres :</p> $P\left[\frac{\text{conséquence B}}{\text{cause A}}\right] \approx \frac{\text{card}\left\{\begin{array}{l} \text{conséquence B} \\ \& \text{cause A} \end{array}\right\}}{\text{card}\{\text{cause A}\}}$	<p>Formule de Bayes :</p> $P\left[\frac{\text{cause A}}{\text{conséquence B}}\right] \propto P\left[\frac{\text{conséquence B}}{\text{cause A}}\right] \times P[\text{cause A}]$ <p style="font-size: small;"> <small>mise à jour du savoir, loi a posteriori = posteriori</small> <small>modèles, "rouages": "comment ça marche" = vraisemblance</small> <small>degré de croyance indépendant des observations, expertise = prior</small> </p> <p>Formule de marginalisation :</p> $P(A/H) = \sum P(A \cap C_i / H)$ <p style="font-size: small;"> <small>{C_i} = partition de E</small> <small>l'incertitude sur A sachant l'hypothèse H se décompose en l'incertitude sur A sachant H pour chacun des modèles C_i envisageables</small> </p>

Tableau 3 : principes des deux logiques de traitement des incertitudes dans l'étude de risques (source : [78])

Ces deux modes de raisonnement se retrouvent explicitement dans les modélisations d'accidents de systèmes arborescents (très fréquentes pour étudier les processus industriels) [67]. Le principe de base repose sur le *théorème de Lusser* selon lequel "la probabilité de succès d'une chaîne de composants est égale au produit des probabilités de succès pour chacun de ses éléments".

Ainsi, dans le cas de systèmes simples à décomposer, il est courant d'utiliser entre autre la méthode des arbres consistant à étudier la succession de séquences d'actions sous forme arborescente. Celle-ci peut justement être :

- **déductif** – méthode d'arbres des défaillances ou des défauts : on considère les effets des différentes pannes aux différents stades du processus,
- **inductif** – méthode d'arbres d'événements : on considère les causes potentielles des dérèglements du système aux différents stades du processus.

Cette manière de procéder permet en outre d'identifier aisément les dangers en phase finale ou intermédiaire.

Lorsque le phénomène est trop complexe à décomposer, l'évaluation quantitative du fonctionnement du système se fait par des méthodes stochastiques [67] :

- modélisations des phénomènes à partir de résultats mathématiques (approche déterministe) et d'observations empiriques (approche probabiliste),
- simulations de Monte-Carlo, etc.

Il s'agit bien souvent d'une démarche inductive dans laquelle le problème consiste à remonter aux causes cachées à partir d'une base de données.

Les **méthodes formelles** décrites en premier lieu sont utilisées dans les études de risques industriels, tels que les processus de la filière agro-alimentaire, des industries chimiques, du nucléaire, etc.

En ce sens, les risques en question concernent exclusivement des risques technologiques et font l'objet d'une étude des données de fiabilité (données relatives au mauvais fonctionnement d'un équipement ou d'un opérateur, autrement dit données microscopiques correspondant à des événements individualisés) [67].

Les **méthodes stochastiques** s'apparentent pour leur part aux problèmes de risques faisant intervenir un grand nombre d'événements dont la survenance pose des problèmes de quantification. Il s'agit bien évidemment des risques naturels (pluies, crues, feux de forêt, avalanches, cyclones, séismes) mais aussi de risques liés à l'activité humaine et aux populations, tels que les transports de matières dangereuses ou les risques épidémiologiques. Ces menaces sont alors soumises aux données événementielles (données macroscopiques correspondant à des successions d'événements ne pouvant être quantifiés individuellement – par exemple le naufrage d'un pétrolier au large d'une côte donnée) [67]. Ce type de démarche met en relief l'importance des paramètres susceptibles d'intervenir dans le déclenchement des phénomènes et leurs problèmes d'intégration dans les modèles de risques sous-jacents.

L'ensemble de ces considérations nous permet maintenant de dégager les deux aspects principaux de l'approche probabiliste des risques par l'analyse des aléas :

- **le type des raisonnements échafaudés** : déductif / inductif,
- **le type des phénomènes étudiés** : microscopique / macroscopique.

Bien évidemment, les études de risques ne se résument pas exclusivement à une démarche scientifique bien délimitée, ni à un phénomène physique bien déterminé. Cela explique le foisonnement des méthodes d'évaluation des aléas, souvent élaborées au cas par cas et faisant intervenir la plupart du temps un grand nombre de paramètres explicatifs.

L'étude des régimes fluviaux constitue un très bon exemple des difficultés que l'on peut rencontrer pour aborder la notion d'aléa dans une étude de risques [42]. L'observation des débits d'un fleuve sur des durées plus ou moins longues ne permet pas de prime abord une intuition correcte des phénomènes extrêmes, et pour preuve :

- débit de la Loire à Serre : le maximum jamais relevé jusqu'en 1979 date de 1878 et s'élève à 1700 m³/s → en 1980, on relève un débit du même ordre de grandeur (1950 m³/s) ;
- débit de la rivière Pecos au Texas : le maximum observé entre 1901 et 1953 date de 1932 et s'élève à 3285 m³/s → en 1954, on relève un débit plus de 8 fois plus gros (26850 m³/s) ;
- débit de la rivière Plumcreek au Colorado : le maximum observé entre 1942 et 1964 s'élève à 218 m³/s → en 1965, on relève un débit 20 fois plus gros (4360 m³/s) !

Compte-tenu du facteur "incertitude" et du grand nombre de paramètres explicatifs impliqués dans l'étude de risques, l'analyse de l'aléa prend souvent la forme de "méthodes", côtoyant les domaines des mathématiques appliquées et du traitement de données.

Dans certains cas, la frontière entre aléa et vulnérabilité est très ténue lorsque l'aléa se résume à la probabilité de survenance de l'événement extrême auquel on est prêt à être confronté.

Enfin, il est à noter que la manière d'appréhender la notion d'aléa dans une étude de risques est aussi sujette à l'usage que l'on souhaite en faire, qu'il s'agisse d'identification, de prévention, de prévision ou de gestion de risques.

A titre d'exemples, nous présentons ci-dessous quelques approches qui nous ont semblé intéressantes dans les domaines urbains, hydrologiques et forestiers.

L'analyse de l'aléa des risques urbains

Nous avons pris le parti de considérer séparément ce type de risques, car leur étude est encore très sommaire – ou tout du moins ne fait pas l'objet de méthodologies reposant sur des certitudes quant à leurs causes et effets précis.

De fait, les démarches actuelles réalisées dans plusieurs grandes villes de France consistent à appréhender statistiquement le risque sous sa composante aléatoire, à partir de fichiers d'archives.

L'aléa relatif aux accidents en milieu urbain

L'étude relative aux dangers d'accidents en ville repose sur la caractérisation même de l'accident. Celle-ci regroupe les informations sur le lieu, l'environnement, les véhicules et les usagers impliqués dans l'accident.

Les données utilisées sont ainsi de 3 types [20] :

- données relatives aux personnes impliquées (usager, âge, véhicule, manœuvre...),
- données temporelles (date, heure),
- données spatiales (carrefour, type de voie, obstacle, environnement), afin d'intégrer l'événement local dans un environnement plus large.

Les données "thématiques" sur les accidents sont issues du B.A.A.C. (Bordereau d'Analyse des Accidents Corporels). Elles sont alphanumériques et font l'objet d'un géocodage ainsi que de fréquentes mises à jour (cf Figure 3). Ces opérations s'inscrivent dans le souci d'intégrer dans l'étude les dimensions spatiales et temporelles sans lesquelles une approche de l'accidentologie urbaine n'aurait pas de sens.

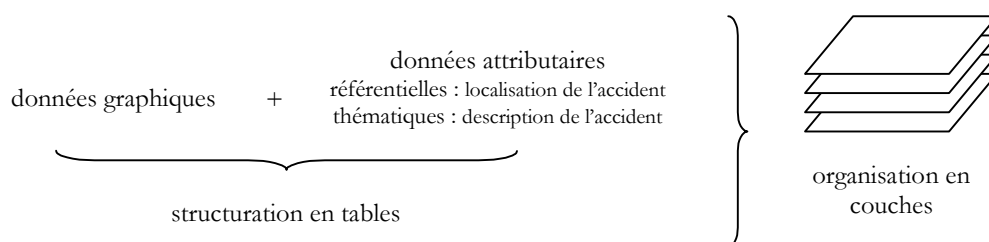


Figure 3 : structuration et organisation des données pour une étude accidentologique (source : [20])

Le traitement des données est typiquement celui offert par un S.I.G. :

- l'accès aux données peut être attributaire ou géographique,
- les requêtes s'effectuent par boîtes de dialogue et sélection graphiques.

Au final, le croisement des différents modes d'exploitation permet de cibler et d'obtenir une approche statistique descriptive de tel ou tel type d'accidents.

L'aléa relatif aux actes délinquants en milieu urbain

L'étude de la délinquance dans les villes se fonde également sur des données d'archives. Celles-ci préjugent de manière plus explicite des causes mêmes de la délinquance.

Concernant précisément ces causes, les avis sont partagés et mettent en avant de manière plus ou moins prononcée l'aspect "situationnel" de la délinquance, favorisé par [17] :

- la défektivité des contrôles de police ou du voisinage,
- l'existence de cibles particulièrement vulnérables,
- la présence d'auteurs déterminés.

Par conséquent, les données exploitées sont celles des fichiers de police, regroupant depuis 1972 les caractéristiques des actes de délinquance regroupés en plusieurs catégories et ciblant au mieux les causes supposées.

De même que pour l'accidentologie urbaine, l'étude de la délinquance se limite à une description sociale et spatiale des différents actes constatés, dont la fréquence empirique donne une première intuition de l'aléa du risque associé.

oOo

Dans ces deux exemples, l'aléa correspond donc à une simple interprétation fréquentiste des événements constatés et caractérisés par un ensemble de champs descriptifs ou potentiellement explicatifs des phénomènes. L'approche du caractère aléatoire du risque se résume finalement en une exploitation des bases de données d'archives (superposition, croisement, agrégation des données), faute de modélisation poussée des phénomènes.

L'analyse de l'aléa des risques liés aux systèmes hydrologiques

Les barrages

L'incertitude relative à la résistance des barrages repose sur [42] :

- des facteurs naturels : survenance d'une grosse crue, séisme, glissement de terrain,
- des facteurs humains : défauts de conception, de construction, de surveillance ou d'entretien manifestés lors de la première mise en eau ou au fil des ans.

Les aléas naturels sont considérés comme exceptionnels. Cependant, le rôle premier des barrages étant de réguler le fonctionnement des cours d'eau, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des crues et de leur fréquence d'occurrence. Dans cette optique, E.D.F. propose une méthode d'évaluation des crues intéressante en termes d'analyse de l'aléa.

La vulnérabilité du risque de rupture de barrage étant trop importante, la politique adoptée recherche à neutraliser l'aléa en visant à la "sécurité absolue" : il s'agit ainsi de se protéger contre l'événement "maximal". Il demeure cependant que le calcul déterministe de la limite supérieure du phénomène est difficile, comme nous avons pu le pressentir dans les exemples cités quelques lignes plus haut.

La volonté de se prémunir contre l'événement qualifié d'"extrême" revient ainsi à déterminer la crue de projet, c'est-à-dire la crue à laquelle doit pouvoir résister le barrage dans des conditions de sécurité convenables.

Parmi les méthodes de détermination de la crue de projet, citons :

la méthode du coefficient de sécurité C_S

Elle consiste à appliquer un coefficient multiplicatif au plus fort débit observé historiquement, mais la fiabilité d'une telle méthode est toute relative (que dire lorsqu'une crue record se produit, dépassant la crue de projet et la remettant ainsi en cause ?).

la méthode de la crue maximale probable P.M.F. (Probable Maximum Flood)

- on considère la *P.M.P.* (Pluie Maximale Probable) – théoriquement la plus forte précipitation d'une durée déterminée physiquement possible sur une surface donnée dans un site géographique particulier et à une certaine époque de l'année ;
- on la transforme en *P.M.F.* en maximisant les facteurs hydrologiques les plus importants et en utilisant des valeurs "élevées mais réalistes" pour les facteurs secondaires.

→ si tous ces facteurs sont maximisés, le caractère improbable de l'événement est exacerbé et le résultat est trop élevé pour la plupart des applications. C'est pourquoi cette méthode est qualifiée de "méthode

maximaliste” (la crue maximale possible envisagée est associée à une probabilité P nulle) et n’a pas retenue les faveurs d’E.D.F.

le recours aux méthodes probabilistes

Compte-tenu de ces considérations, il faut accepter l’idée du risque et donc estimer les probabilités de dépasser des valeurs même très élevées en considérant le phénomène physique comme une variable aléatoire.

La méthode utilisée est alors “probabiliste” et cherche à se prémunir contre des crues millennales, ou décennales, c’est-à-dire pour lesquelles $P > 0$. De ce fait, l’aléa se fait au travers de la probabilité de survenance de l’événement “extrême”. Il s’agit en particulier :

- d’estimer la probabilité de dépassement du débit q à un site donné,
- d’estimer le quantile q_p dont la probabilité de dépassement est p : $P(Q_p \geq q_p) = p$,
- d’estimer les débits de projet q_i d’un ensemble de sites pour que, *en moyenne*, la probabilité du dépassement du débit de projet d’un site soit égale à p .

Cette approche, bien que probabiliste, ne permet pas de raisonner en intervalles de confiance. L’élargissement de la zone de confiance autour d’une valeur accroît en effet considérablement l’intervalle et fait considérer des crues de fréquence de plus en plus faible – ce qui est à l’encontre des objectifs de la méthode et ne facilite pas la décision.

oOo

En définitive, dans cette étude, la notion d’aléa cadre parfaitement avec la définition classique présentée auparavant : l’aléa correspond à la probabilité d’occurrence d’un événement donné. Dans ce cas particulier, elle est estimée par des méthodes mathématiques, sous des hypothèses clairement posées.

Les inondations

L’analyse de l’aléa en matière d’inondations fait l’objet de plusieurs méthodes, très fluctuantes selon l’objectif de l’étude (étude prévisionnelle de crue, règlementations locales, etc.).

L’analyse de l’aléa d’inondation dans une perspective prévisionnelle

Il s’agit ici d’améliorer les connaissances des facteurs provoquant les inondations (neige, pluie, terrain...). Les paramètres mesurant l’aléa d’inondation se divisent en deux catégories [2] :

- informations relatives à la **morphologie** et à la **topographie** :
 - l’ordre de confluence – fonction du nombre de sous-bassins alimentés ou alimentant le sous-bassin considéré,
 - les pentes moyennes du bassin – facteur accélérateur de l’accès de l’eau au réseau,
 - le profil en eau (pente moyenne calculée sur le réseau) – facteur accélérateur de la vitesse du cours d’eau,
 - la densité de drainage (longueur du réseau / surface du bassin) – facteur accélérateur de l’accès de l’eau au réseau.
- informations relatives au **type de couverture** :
 - l’imperméabilité moyenne des sols – coefficient pondéré par la pente moyenne,
 - la capacité d’absorption en eau des sols (nombre de mm de pluie qu’un sol peut absorber) – facteur de retard au ruissellement des eaux,
 - le refus à l’infiltration de l’eau dans le sol (quantité d’eau “piégée” avant ruissellement).

Ces informations, rassemblées dans un S.I.G., sont intégrées dans un modèle en même temps que les données de pluie couvrant la zone d’étude. La confrontation des simulations réalisées avec une situation réelle de crue permet de juger de la pertinence du choix des paramètres et de la validité des hypothèses du modèle. L’apport d’images satellitales ainsi que des bases de données hydrologiques et météorologiques locales est envisageable dans une optique prévisionnelle des crues.

Ce type de méthode est avant tout dirigé vers les opérations de prévision de risques, voire de gestion de risques. Il est important de noter que le souci de prévision fait intervenir dans cette analyse des outils de suivi continu, tels que les images satellite ou les relevés des stations hydrologiques et météorologiques.

oOo

De manière générale, nous retiendrons que l'aléa est présenté comme une conjoncture entre l'existant (système hydrique, configuration du terrain) et des phénomènes aléatoires mesurés en temps réel ou prévus à court terme (fortes pluies, fonte des neiges).

L'analyse de l'aléa d'inondation dans une perspective décisionnelle

La notion d'aléa dans la méthode *Inondabilité* (cf Annexe 1) actuellement en vigueur dans les P.P.R. est perçue de manière tout à fait différente car elle est orientée vers l'élaboration de réglementations locales et nationales et de fait, elle est directement liée à la notion de vulnérabilité.

Dans cette méthode, l'analyse de l'aléa fait appel à deux domaines d'étude des cours d'eau [45] :

- **l'hydrologie** : science étudiant la production d'eau dans les rivières (pluviométrie, débitimétrie, etc.),
- **l'hydraulique** : science étudiant les transferts dans les cours d'eau (écoulements, stockages d'eau, etc.).

L'hydrologie ne fait pas l'objet de méthode centrale : dans cette optique, la méthode *Inondabilité* propose des techniques de description aléatoire des pluies et des débits afin de caractériser l'aspect probabiliste des crues.

L'hydraulique découle d'un seul modèle conceptuel (les équations de Barré de Saint-Venant), permettant ainsi d'obtenir aisément l'impact d'une crue donnée, autrement dit l'aléa associé à la période de retour de la crue.

Ces techniques ont fait l'objet de validations et sont communément employées en France pour l'élaboration des P.P.R.

La cartographie résultante de l'aléa représente finalement l'emprise des crues sur la carte, pour différentes périodes de retour considérées. La crue de référence actuelle est la crue centennale, lorsque la période de retour de la crue historique enregistrée ne dépasse pas le siècle.

oOo

La méthode *Inondabilité* appréhende ainsi l'aléa comme l'emprise des zones inondées pour un panel de périodes de retour données. Cette cartographie des zones soumises aux inondations conditionnellement à leur fréquence de survenance favorise la confrontation de l'aléa avec les valeurs de vulnérabilité et, à terme, la synthèse d'un document comparatif d'aide à la décision.

L'analyse de l'aléa des risques liés au domaine forestier

L'aléa des risques naturels menaçant les peuplements forestiers

Les forêts possèdent un rôle de protection vis-à-vis de nombreux risques naturels, tels les avalanches, les chutes de pierres, les laves torrentielles, etc. Cette fonction de certains peuplements forestiers se ressent d'autant plus qu'elle s'amenuise avec un abandon généralisé de la sylviculture. La réhabilitation de ces zones exige une étude de risques intégrant l'analyse de l'aléa et de la vulnérabilité [6].

Le niveau de protection des peuplements forestiers n'est cependant appréciable qu'a posteriori, c'est-à-dire uniquement lorsque le peuplement a disparu. Ainsi, l'étude de risques consiste en l'élaboration d'une

méthodologie de zonage de forêts à fonction de protection vis-à-vis des risques naturels, prenant en compte :

- les données relatives aux phénomènes naturels \Leftrightarrow l'aléa,
- les enjeux menacés \Leftrightarrow la vulnérabilité.

Nous nous intéressons ici à la manière dont est appréhendé l'aléa et plus particulièrement à la forme prise par cet aléa.

Il s'agit, en définitive, de quantifier précisément la nature aléatoire des phénomènes localisés dans l'espace.

Les aléas naturels vont donc être synthétisés sur une carte, résultant du croisement :

- des Cartes de Localisation Probable des Avalanches (C.L.P.A.),
- des cartes recensant les autres phénomènes naturels (chutes de pierres, laves torrentielles, etc.) et donnant des informations sur la fréquence et l'intensité des phénomènes, mais aussi le type de phénomène (actif / potentiel) afin de distinguer les phénomènes déclarés de ceux susceptibles de survenir, étant données les conditions relevées localement.

Cette notion de "phénomènes potentiels" et "phénomènes actifs" ne remet pas en cause la notion de l'aléa telle que nous l'avons présentée auparavant. Elle est particulièrement de mise dans les phénomènes d'avalanches pour lesquels on surveille les zones d'avalanches déclarées ainsi que les zones potentiellement avalancheuses en regard des conditions locales. Les facteurs en faveur d'un départ d'avalanche sont repérés à partir d'un M.N.T. et sont, entre autre :

- les pentes comprises entre 28° et 55°,
- les zones convexes,
- les zones au-delà de 1000 mètres.

oOo

De fait, l'aléa apparaît ici comme une caractérisation quantitative et localisée des phénomènes, tant en intensité qu'en fréquence. L'analyse fait intervenir d'une part les données d'archives recensant les phénomènes déclarés, d'autre part un zonage des régions à risques, issu de méthodes de classification sur des facteurs favorisant le risque.

L'aléa des risques de feux de forêt

L'étude des risques de feux de forêt s'inscrit naturellement dans une politique de prévention. Ainsi, de la même manière que dans l'analyse des risques naturels menaçant les peuplements forestiers à rôle de protection, l'aléa nécessite d'être quantifié et localisé sur la zone d'étude [63]. L'étude du caractère "aléatoire" des feux de forêt intègre chacun de ces deux aspects. Il s'agit en effet de :

- prendre en compte les aléas d'éclosion et de propagation des feux,
- cartographier les zones d'égale sensibilité au feu.

Les problèmes relatifs à la démarche concernent :

- la pertinence d'une séparation éclosion / propagation,
- la caractérisation des facteurs contribuant à l'aléa,
- le zonage de la carte – par création d'un indice global.

Une pré-analyse conduit à distinguer trois types d'aléa :

- l'aléa de départ de feu,
- l'aléa de propagation initiale du feu,
- l'aléa de propagation libre du feu.

Les facteurs potentiels sont alors mis en regard de chacun de ces trois types, conformément au Tableau 4.

Facteur	Aléa
Activité humaine	Départs de feux
Combustible	
Relief	Propagation initiale
Direction du vent	
Vitesse du vent	Propagation libre

Tableau 4 : impact des facteurs explicatifs dans les différents niveaux d'aléa de feux de forêt (source : [63])

Les facteurs explicatifs sont eux-mêmes décrits par un ensemble de paramètres ou découpés en plusieurs classes. En particulier :

- les activités humaines sont zonées autour des lieux fréquentés, des voies de communication et des lignes E.D.F.,
- le combustible est divisé en 4 classes, fonctions de l'essence et du taux de recouvrement du bois,
- le relief est issu d'un M.N.T., son exposition au vent est décrite par la direction du vent ainsi que par la pente et l'orientation du terrain,
- le vent est modélisé par des écoulements réalisés en laboratoire sur un modèle réduit du terrain.

L'aléa de propagation initiale – calculé en chaque point de la grille d'étude à partir de la pente et des conditions d'exposition au vent – est zoné en 3 classes, à partir de valeurs seuils. Ces valeurs seuils sont établies au jugé et en regard de la carte globale obtenue.

On distingue finalement les 3 situations suivantes :

- situation non favorable à la propagation initiale d'un feu,
- situation intermédiaire de par le compromis pente-exposition,
- situation très favorable à la propagation d'un feu naissant.

oOo

Dans ce type d'approche, l'aléa est issu d'une analyse statique de l'existant. De ce fait, il est possible de moduler à volonté les données humaines et de végétation et ainsi de mesurer leur impact au niveau de l'aléa. L'aléa apparaît finalement comme une fonction de l'occupation du sol, permettant ainsi des mesures adaptées en terme d'aménagement.

Synthèse

Les exemples cités précédemment donnent un bon aperçu de la notion d'aléa et de la manière de traiter les aspects probabilistes dans une étude de risques.

- L'aléa peut être abordé de manière brute, selon sa définition première : **la probabilité d'occurrence d'un événement donné**. C'est notamment le cas pour les études de risque où l'événement est quantifié de manière simple (*ex.* : le débit d'une rivière). Il est alors plus commode d'exprimer l'aléa en période de retour.
- Il peut arriver que le phénomène considéré ne relève pas de connaissances physiques ni de modélisations bien "rodées". Dans ce cas, l'analyse de l'aléa est descriptive et s'exprime comme **une simple fréquence empirique des accidents constatés** à partir de fichiers d'archives (*ex.* : risques urbains d'accident ou de délinquance).
- Lorsque l'ampleur de l'événement est très fluctuante aléatoirement et spatialement, l'aléa peut intégrer à la fois **les valeurs de fréquence et d'intensité du phénomène**. Les méthodes d'estimation de l'aléa s'apparentent souvent à des classifications spatiales selon plusieurs paramètres. Il peut s'agir d'un

simple travail de zonage permettant de localiser des menaces sur une région (*ex.* : les risques naturels visant les peuplements forestiers) ou d'une vision de la zone, un cliché de la situation fluctuant avec les paramètres (de ce fait, ce type d'étude est avantageux pour les problèmes d'aménagement – *ex.* : les forêts menacées par des incendies).

- Certains phénomènes naturels dangereux ont des fréquences d'occurrence impossibles à déterminer en l'état actuel des connaissances (*ex.* : séismes), tout au mieux peut-on les prévoir à court terme (*ex.* : cyclones, éruptions volcaniques). Bien souvent, la description de leur aléa consiste à **ranger leur intensité sur une échelle** [27] :
 - l'échelle de Beaufort mesure l'intensité des tempêtes sur mer et sur terre,
 - l'échelle de Richter reflète l'intensité d'un séisme, précisément en son centre,
 - l'échelle de Saffir-Simpson classe les cyclones en fonction de la vitesse du vent et la hauteur des vagues, etc.
- Un autre mode de représentation cartographique peut intégrer fréquence et intensité de l'aléa en faisant apparaître **les différentes emprises des phénomènes selon leur fréquence d'occurrence**. Cette approche, utilisée dans la méthode *Inondabilité*, est bien adaptée pour être confrontée à la carte de la vulnérabilité dans une perspective décisionnelle.
- Lorsque l'étude du risque s'articule autour de son volet "prévision", l'aléa se présente comme la **conjoncture entre l'existant** (le terrain et ses caractéristiques) **et les phénomènes aléatoires** (pluies, neige) observés en temps réel ou prévus à court terme.

Si la notion d'aléa est assez bien définie, il n'en demeure donc pas moins que la multiplicité des techniques, la diversité des exemples étudiés et la perspective d'approche du risque font de l'analyse de l'aléa une étude au cas par cas.

Il est important de noter que l'aléa ne représente pas à lui seul le risque. Par exemple, une simple cartographie de **l'aléa** ne suffit pas à quantifier le risque, contrairement à l'usage répandu consistant à dessiner les contours d'une crue exceptionnelle en guise de carte de **risque** d'inondations. L'analyse de l'aléa d'un risque ne doit pas conduire à l'élaboration de résultats d'ordre uniquement documentaire, dessaisis de l'analyse de vulnérabilité. C'est ce aspect du risque – et non le moindre – que nous proposons maintenant d'aborder.

La composante vulnérabilité : aspects déterministes des risques

La “définition du dictionnaire”

La vulnérabilité définit le “**caractère vulnérable**”. A cet adjectif, le Petit Robert donne deux acceptions principales :

- ◆ 1° qui peut être blessé, frappé par un mal physique ;
- ◆ 2° qui peut être facilement atteint, se défend mal.

Le concept de vulnérabilité dans l'étude de risques

Ces deux notions se retrouvent dans les études de risque [26] :

- d'une part, la vulnérabilité peut correspondre à une **mesure de l'endommagement potentiel** des biens, personnes et activités et ses répercussions sur l'environnement économique ;
- d'autre part, la vulnérabilité peut être perçue à travers la **capacité de réponse** des sociétés à des crises potentielles (*a priori* et *a posteriori*).

Dans cet ordre d'idées, André Dauphiné [27] propose deux définitions de la vulnérabilité :

- La **vulnérabilité analytique** correspond à la notion de vulnérabilité fournie par le guide général des P.P.R. : “la vulnérabilité, au sens le plus large, exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux”. Ces derniers représentent les domaines affectés par le risque (populations, biens, milieux) et varient suivant la nature de l'aléa. Pour chaque enjeu et chaque niveau d'aléa est établie une évaluation des dommages.
- Cette définition est considérée comme trop restrictive et un autre courant propose d'associer au terme de vulnérabilité “la capacité de réponse des sociétés à des crises potentielles” (René d'Ercole, 1994). Il existe deux façons de surmonter une crise : la résistance et la résilience (“capacité à absorber le changement, à persister au-delà d'une perturbation”). Le cumul de la résistance et de la résilience est égal à l'inverse de la vulnérabilité : on parle de **vulnérabilité synthétique**.

En pratique, il est difficile d'intégrer l'effet des scénarios de réparation dans l'évaluation de la vulnérabilité. Ainsi que nous le laissons entrevoir en introduction, l'analyse de vulnérabilité se focalise sur l'évaluation du niveau d'endommagement des enjeux, et se rapproche en ce sens de la notion définie dans le guide des P.P.R. Cependant, la distinction entre la détermination du niveau d'endommagement (analyse de vulnérabilité) et la quantification de la valeur des entités menacées (analyse des enjeux) est souvent floue. Certaines études réunissent les deux étapes, faisant ainsi de l'analyse de vulnérabilité une évaluation des dommages potentiels. De manière ouverte, nous retiendrons que **la vulnérabilité quantifie l'impact d'un phénomène** (naturel, technologique, urbain, sanitaire ou environnemental) **sur des enjeux** (humains, économiques et environnementaux). Notons enfin que cette définition implique de caractériser précisément le phénomène redouté – en d'autres termes de décrire son aléa...

L'analyse de vulnérabilité

L'analyse de la vulnérabilité a donc pour but d'évaluer les effets et conséquences d'un phénomène donné sur des enjeux.

Formellement, la vulnérabilité est une variable exprimant les impacts d'un phénomène potentiel en fonction [102] :

- des **paramètres physiques de l'aléa** : amplitude, durée, étendue, rapidité, etc.,

- des **ressources disponibles pour limiter les impacts** : délais de réponse des autorités locales et des populations, capacité et moyens pour se protéger et restaurer,
- et biensûr du **descriptif de tous les enjeux présents au sol** : quantité et nature des biens, occupation du sol, activité, localisation et surface.

L'analyse de la vulnérabilité associée à un risque met en œuvre des méthodes déterministes : il s'agit d'évaluer la gravité des conséquences d'un événement donné.

L'analyse de la vulnérabilité nécessite ainsi :

- d'étudier les phénomènes physiques successifs au phénomène survenu (catastrophe, accident...) par le biais de modèles prédictifs issus de calculs théoriques ou de modèles expérimentaux,
- d'évaluer les effets et conséquences du phénomène de manière déterministe (c'est-à-dire sans souci de la probabilité de survenance du phénomène).

Les recherches actuellement menées sur les risques dénotent une attention accrue sur la notion de vulnérabilité, dont la complexité de l'étude est directement liée à la multitude des domaines concernés :

- les sciences de l'ingénieur, l'expérience et l'expertise des milieux et des risques,
- les sciences humaines et sociales : sociologie, histoire, droit, économie...

De fait, l'analyse de la vulnérabilité dépasse les domaines balisés de la théorie pour empiéter sur des notions floues ou tout du moins difficilement quantifiables, telles : les attentes de la société, la prise en compte des risques naturels dans l'aménagement du territoire, l'appréhension du risque par les citoyens et les élus locaux suite à la mise en place d'une politique nationale de prévention des risques, les archives et l'intégration des catastrophes historiques, les enjeux économiques, etc.

Éléments vulnérables

Au terme de l'identification des entités exposées aux risques, on distingue généralement pour l'évaluation de la vulnérabilité :

- l'être humain,
- l'écosystème, l'environnement,
- les richesses économiques, les infrastructures.

L'être humain

Classiquement, les bilans humains consécutifs à une catastrophe se chiffrent en nombre de blessés et de morts [67]. Certaines précisions sont parfois nécessaires :

- lorsque la source de l'accident est humaine (type accident industriel), on distingue parmi les victimes :
 - les personnes présentes à la source du risque (et bien souvent impliquées dans la succession des événements),
 - les personnes "extérieures", c'est-à-dire subissant le risque sans en être partie prenante ;
- lorsque les risques sont échelonnés dans le temps (type accident nucléaire), on distingue les risques à effet immédiat des risques à effet différé.

En termes d'évaluation de vulnérabilité, il s'agit d'apprécier la taille des populations soumises au risque et de nuancer le degré d'exposition de chacun des individus en fonction de sa localisation spatiale, des caractéristiques du phénomène et de la configuration du territoire.

Par exemple, dans le cas du risque de T.M.D., on est amené à distinguer les individus selon qu'ils évoluent plus ou moins loin de la zone sinistrée et dans un milieu ouvert ou confiné.

Les conséquences d'une catastrophe sur une population restent cependant délicates à évaluer, car les effets sont très variés et peuvent s'étaler dans le temps. On distingue à ce titre [92] :

- les effets immédiats : mortalité, blessures, impacts psychologiques,
- les effets différés : maladies, psychose, etc.

L'écosystème, l'environnement

L'analyse de vulnérabilité environnementale comme "propension à être endommagé" consiste à mesurer la résistance de l'écosystème et de l'environnement à la survenance d'un phénomène catastrophique (comportement d'un peuplement forestier en cas de glissement de terrain, survie d'une espèce animale en cas de pollution, etc.).

Dans une étude de vulnérabilité environnementale intégrant par ailleurs la valeur même des enjeux, la quantification des dommages ne posera pas de problèmes pour [67] :

- les préjudices donnant lieu à des dépenses directes de lutte contre la pollution (qu'elle soit accidentelle ou chronique), de réhabilitation de sites, de remise en état d'installations,
- les préjudices économiques dus à un manque à gagner, ou correspondant à l'annulation d'un investissement passé.

Hélas, ce calcul sera beaucoup plus difficile lorsqu'il s'agira d'évaluer :

- les préjudices représentant une perte (ou une diminution) de jouissance (de pêcheurs amateurs, par ex.),
- les préjudices irréparables au patrimoine naturel (par ex. l'extinction d'une espèce).

Les richesses économiques, les infrastructures

L'évaluation économique classique consiste, d'une part à apprécier le degré d'exposition des richesses réparties sur le territoire pour estimer leur niveau d'endommagement potentiel, d'autre part à quantifier leur masse (valeur des enjeux). Lorsqu'il s'agit de réseaux, la vulnérabilité se cantonne généralement à l'endommagement physique et laisse de côté les perturbations associées.

La vulnérabilité des richesses économiques intègre aussi les dommages potentiels subis par les entreprises privées. Cependant, en termes de réglementations sur la gestion des risques, ce type de dommages n'est pas pris en compte par les collectivités ou l'État, les réparations étant assumées par les assurances. Il n'en demeure pas moins que l'étude réalisée par les assureurs comprend :

- l'identification et la quantification des menaces sur les installations pour la partie aléa,
- l'évaluation des conséquences, concernant entre autre la destruction de matériel (bâtiments, machines, stocks) et la perte d'exploitation (charges fixes + bénéfices nets) pour la partie vulnérabilité.

A titre d'exemple, le Tableau 5 décrit qualitativement la vulnérabilité des richesses au risque d'inondation.

Bien	Vulnérabilité
Sols	plus ou moins vulnérable
Cultures et récoltes	variation suivant la saison
Constructions	gros œuvre : peu sensible ; second œuvre : très sensible ; équipement et mobilier : idem
Véhicules	très sensibles mais mobiles
Machines et moyens de production	forte sensibilité
Stocks	forte sensibilité (eau et dépôts)
Réseaux	très sensibles (lignes et postes de distribution)

Tableau 5 : vulnérabilité des richesses économiques (biens, stocks, infrastructures) au risque d'inondation (source : [92])

Synthèse

La décomposition des entités menacées en ressources humaines, environnementales et économiques est conceptuelle et ne saurait faire l'objet d'une méthode universelle d'évaluation de la vulnérabilité. Les études de vulnérabilité appellent des représentations adaptées au cas par cas, notamment en termes de quantification.

La multiplicité des formes de vulnérabilité rend difficile l'évaluation d'une vulnérabilité totale, qui intégrerait grâce à une même unité les bilans humain, économique et environnemental [27]. Anne-

Catherine Chardon propose, par exemple, de définir la vulnérabilité de la ville colombienne de Manizales envers tous les risques naturels en considérant plusieurs critères physiques et socio-économiques, agrégés selon une règle de pondération (cf Figure 4). Si une telle méthode s'avère très opératoire, elle dépend beaucoup du choix des critères et de leur pondération.

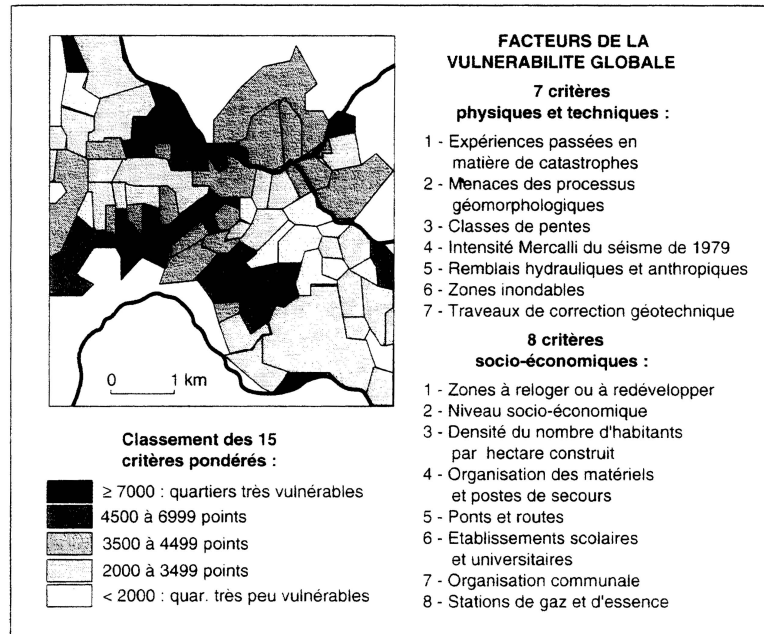


Figure 4 : un exemple d'analyse de la vulnérabilité : la ville de Manizales, Colombie (d'après Anne-Catherine Chardon, 1994, in [27])

Facteurs de vulnérabilité

La quantification de la vulnérabilité nécessite non seulement d'identifier les éléments vulnérables mais aussi d'analyser **en quoi ces éléments sont vulnérables** : quels sont les facteurs intrinsèques et extrinsèques aggravants ou réducteurs de la vulnérabilité, quelle est la propension des unités soumises à subir des dommages, quelles sont les relations ou similitudes entre ces mêmes unités en termes de vulnérabilité, etc. ?

La notion soulevée ici est celle de "système de vulnérabilité" [26]. Dans cette approche, la vulnérabilité est perçue comme un "système articulé autour de nombreuses variables (naturelles et humaines) dont la dynamique dans le temps et l'espace peut engendrer des situations plus ou moins dangereuses pour une société exposée". Le système de vulnérabilité se décompose en facteurs et éléments vulnérables comme indiqué en Figure 5.

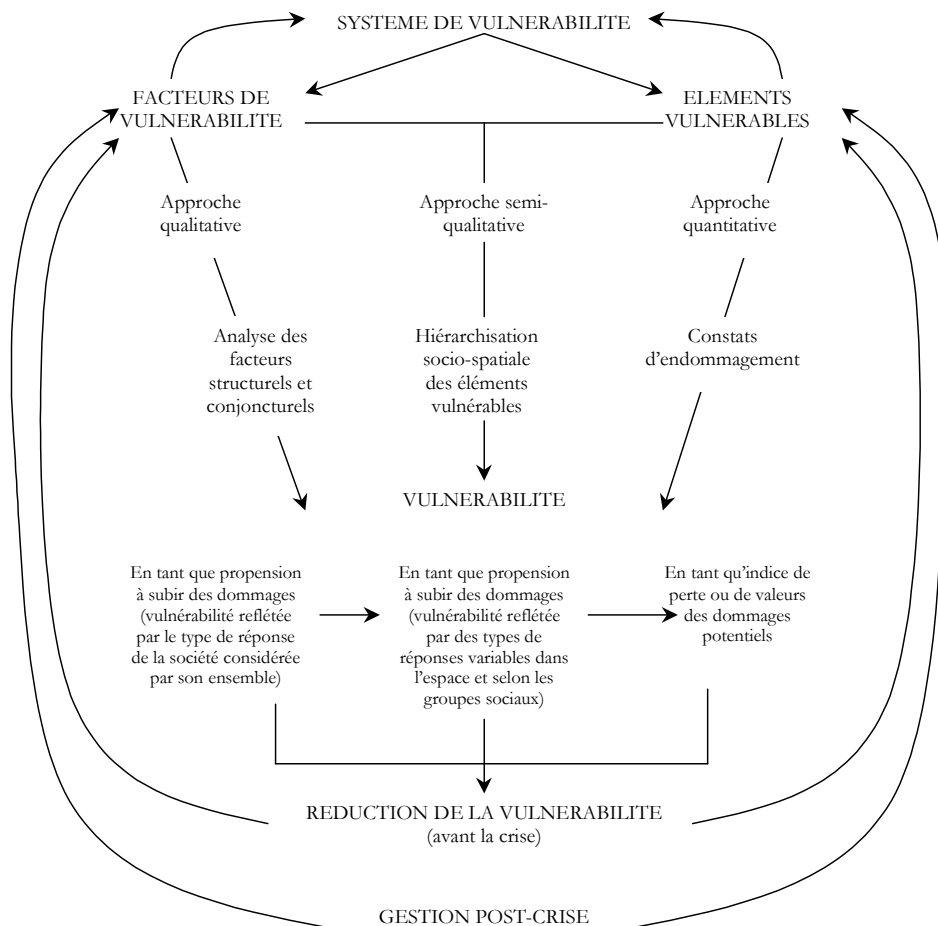


Figure 5 : synthèse des différentes approches de la vulnérabilité et relations (source : [26])

Quelques commentaires à propos de la Figure 5 [26] :

Cette figure met parfaitement en lumière les différents niveaux d'interprétation de la notion de vulnérabilité :

- Dans une première approche qualitative, la vulnérabilité apparaît comme la **propension d'une société à subir des dommages** en cas de manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique. La réponse de la société à ces différents facteurs peut varier de l'absorption passive à l'aversion totale à l'endommagement.
- Dans une deuxième approche semi-qualitative, la société n'est plus considérée dans son ensemble mais est hiérarchisée en groupes sociaux et spatiaux, en fonction du degré d'exposition des personnes, biens et activités, et donc de leur **capacité de réponse** à telle ou telle crise.
- Il s'agit enfin, dans une dernière approche quantitative, de quantifier la vulnérabilité. Par exemple – nous le verrons par la suite – par un **pourcentage d'endommagement** ou un "degré de pertes potentielles", résultant d'un phénomène susceptible d'engendrer des domaines matériels, des préjudices corporels et des dysfonctionnements (cette notion de "degré de pertes potentielles" a été introduit par les Nations-Unies en 1993 sous la forme d'un indicateur compris entre 0 et 1).

Nous donnons dans le Tableau 6 un aperçu de différents facteurs aggravant la vulnérabilité des unités soumises au sol [26].

Facteur de vulnérabilité	Commentaires
Croissance démographique et urbaine	L'exposition croissante aux menaces est liée à l'occupation incontrôlée de zones inondables, instables, déboisées, soumises à d'éventuelles éruptions volcaniques ou séismes...
Modes d'occupation et d'utilisation du sol	
Facteurs économiques et sociaux	Ils sont liés également à l'occupation du sol. Exode rural, spéculation foncière et attrait de la ville expliquent que de plus en plus de zones à risques s'urbanisent (par contrainte).
Facteurs psycho-sociologiques	Les personnes habitant sur des zones à risques entretiennent une mémoire collective peu durable et peu fidèle (oubli et atténuation du danger – les échelles ne sont pas les mêmes)... quand bien même ils sont conscients d'habiter dans une zone à risques. Par ailleurs, d'autres risques urbains (chômage, insécurité, etc.) occultent les risques naturels.
Facteurs techniques	Mauvaise qualité ou inadaptation des constructions, sous-dimensionnement des ouvrages, etc.
Facteurs fonctionnels	Problèmes de communication, d'alerte, de gestion de crise, de déploiement des secours. La vulnérabilité <i>a priori</i> peut être affectée par la manière dont les crises sont gérées après la catastrophe.
Facteurs culturels et historiques	Persistance de croyances ou de religions, mauvaise mémoire du risque, etc.
Facteurs institutionnels	Dysfonctionnements entre les échelons politiques pour la gestion des risques, politiques de planification urbaine négligentes, pressions sociales et économiques.
Autres	Assurances, dysfonctionnements et blocages imprévus...

Tableau 6 : exemple de facteurs de vulnérabilité (source : [26])

Les commentaires montrent combien les facteurs de vulnérabilité relèvent non seulement de l'existant (notamment de l'occupation du sol) mais aussi – et pour une part non négligeable – de dysfonctionnements techniques, administratifs, politiques, économiques, etc.

Ce mode d'aggravation de la vulnérabilité est un aspect difficile à prendre en compte dans l'analyse de vulnérabilité car il ne transparaît absolument pas dans la description de l'occupation des sols.

Dans les exemples qui suivent, nous présentons plusieurs analyses pratiques de la vulnérabilité, dont nous verrons qu'elles dépendent en partie de la nature de l'étude de risques (prévention, prévision ou gestion du risque) et qu'elles s'assimilent plus ou moins à une évaluation des dommages potentiels selon la place accordée à la valeur des enjeux.

Exemples d'évaluation de niveaux de vulnérabilité et de quantification des dommages

Les notions de vulnérabilité et de dommages sont très proches car elles sont à la frontière de la survenance de l'événement catastrophique redouté. A ce titre, nous avons vu plus haut que l'analyse de vulnérabilité pouvait se fonder tantôt sur [16] :

- **une démarche prospective** : l'objectif est de dégager un niveau de vulnérabilité *a priori* à partir de la connaissance des sources de danger, des entités menacées et des facteurs aggravant les enjeux,
- **une démarche factuelle** : il s'agit de quantifier *a posteriori* les dommages enregistrés à la suite de la catastrophe – ces données pouvant servir de retour d'expérience pour des évaluations futures.

Conformément à ce schéma, nous présenterons dans ce chapitre plusieurs exemples de méthodes d'évaluation de la vulnérabilité *a priori*. L'évaluation des niveaux de vulnérabilité pour un risque donné s'inscrit en effet dans une démarche de prévention, dont les objectifs consistent à établir des réglementations pour la protection des populations et des espaces.

Ces niveaux peuvent directement être matérialisés par des valeurs seuils permettant de définir les notions de risque acceptable et inacceptable. Une approche moins systématique consiste à discrétiser la vulnérabilité en plusieurs classes afin de pouvoir la confronter ensuite aux niveaux d'aléa et en déduire un

niveau de risque. Dans une perspective décisionnelle appliquée aux risques d'inondations, la méthode *Inondabilité* propose d'exprimer la vulnérabilité dans la même unité que l'aléa pour mettre en évidence les zones à crédit ou à déficit de protection. Enfin, un dernier type de méthode s'inscrit dans un contexte opérationnel – notamment dans le domaine des assurances – et vise à attribuer à chacun des enjeux un taux d'endommagement en fonction des dégâts constatés.

L'évaluation de la vulnérabilité comparativement à des valeurs-seuils de risque acceptable

Le type de risque concerné par ce genre d'approche est soumis à des réglementations strictes, sous forme de valeurs-seuils que certains indicateurs physiques du système ne doivent pas dépasser.

L'indicateur physique mesure l'état du système et ses réactions face aux phénomènes extérieurs (aléas) tandis que **le seuil** défini par les réglementations fixe le niveau au-delà duquel le système est menacé (vulnérabilité). La comparaison des deux permet de savoir si le système est maintenu dans un niveau de risque acceptable ou non.

Les réglementations servant à définir le seuil s'appuient sur des retours d'expériences, des expertises ou des modèles physiques. La notion de risque acceptable est quant à elle essentiellement rattachée à une volonté de préserver les vies humaines et l'environnement. Dans ce type d'approche, la vulnérabilité apparaît finalement comme indissociable de la définition du risque.

Cette formalisation de la vulnérabilité autour de valeurs seuils se retrouve dans plusieurs domaines :

Les risques nucléaires civils

Les risques liés à des accidents nucléaires, quelle que soit leur gravité, se manifestent par des rayonnements dangereux pour la santé car ils peuvent induire des mutations dans les cellules des êtres vivants [75].

- Lorsque la source radioactive est extérieure à l'organisme (nuages, particules déposées dans l'environnement), on parle d'irradiation. Dans ce cas, la protection est réalisée au moyen d'écrans ou en s'éloignant de la source.
- Lorsque la source radioactive est déposée sur l'individu lui-même ou dans l'organisme (ingestion d'aliments, inhalation, blessures), on parle de contamination. Dans ce cas, la protection est réalisée en se débarrassant des particules radioactives.

Dans un cas comme dans l'autre, les préjudices potentiels sont considérés comme trop importants pour risquer l'éventualité d'un accident.

Alors que l'analyse de l'aléa (réacteurs en fusion, manipulations dangereuses de matières radioactives, fissures dans les bâtiments, etc.) conduit à mettre en place des protections draconiennes autour des installations afin de réduire l'aléa, la vulnérabilité relève de réglementations nationales ou européennes, pour la plupart des normes ou des seuils très stricts de doses reçues à ne pas dépasser.

L'écotoxicologie

L'écotoxicologie est la science qui étudie le devenir et les effets des substances chimiques toxiques dans l'environnement. En écotoxicologie, le risque présente les deux aspects suivants [103] :

- les interactions substances-environnement : elles constituent le danger, ce dernier est caractérisé par des concentrations toxiques,
- la concentration probable des substances dans l'environnement.

La vulnérabilité est alors une quantification de la proportion des espèces de l'environnement affectées par la présence de toxiques.

Ce type de risques s'inscrit par excellence dans les risques pris en compte par le Ministère de l'Environnement. De fait, l'analyse du risque passe par une évaluation comparative de la vulnérabilité avec des valeurs seuils définies légalement.

Les barrages hydrauliques

La rupture potentielle d'un barrage fait peser de lourdes menaces sur les régions situées en aval : les populations, biens sûr, mais également l'environnement, les infrastructures, les réseaux, etc. [42]

De fait, une quantification de la vulnérabilité n'aurait pas de sens en regard de l'importance considérable des pertes humaines et des dégâts matériels. De tristes exemples de ruptures de barrages aux États-Unis ont parfois entraîné jusqu'à 2000 morts et plusieurs centaines de millions de dollars de dommages matériels.

En pratique, la résistance d'un barrage est paramétrée par un ensemble d'indicateurs physiques du système constamment surveillés. Cela étant, la vulnérabilité des régions situées en aval est telle que les seuils limites imposés à ces paramètres sont draconiens.

L'évaluation prospective de la vulnérabilité par discrétisation

Lorsque le niveau de risque nécessite d'être évalué sur une gamme de valeurs beaucoup plus large, il en est naturellement de même pour la vulnérabilité. Dans le cas de scénarios mettant en jeu des phénomènes complexes, il n'existe souvent pas de modèle d'évaluation économique systématique des dommages potentiels. Il faut alors abandonner la perspective d'une évaluation continue de la vulnérabilité et tenter d'échafauder une méthodologie permettant de la ranger dans une **échelle discrète de valeurs** (par exemple, les niveaux de vulnérabilité s'échelonnent en : non vulnérable / faiblement vulnérable / moyennement vulnérable / très vulnérable). Une telle entreprise s'appuie alors sur l'ensemble des définitions et outils que nous avons présentés dans le chapitre précédent : d'une part définition des entités menacées, paramétrisation physique de l'aléa, caractérisation des modes d'endommagement et découpage de l'espace, d'autre part choix des outils de quantification de la (des) vulnérabilité(s) sous certaines hypothèses à formuler.

Nous présentons ci-dessous quelques domaines du risque ayant fait l'objet d'une analyse de vulnérabilité de ce type.

Les Transports de Matières Dangereuses (T.M.D.)

Le transport de matières dangereuses présente des risques difficilement quantifiables tant en termes d'aléa que de vulnérabilité.

Nous ne nous attarderons pas sur l'analyse de l'aléa du T.M.D., dont on devine qu'elle se fonde principalement sur des données d'accidents. Précisons au passage que ces données sont fournies par le Ministère de l'Équipement, du Transport et du Tourisme et spécifient – en termes d'information géographique – le type de voirie ainsi que le département des accidents. Pour mémoire, la localisation des accidents de T.M.D. est principalement rurale (92,4% en 1990).

L'analyse de la vulnérabilité du T.M.D. est particulièrement complexe puisque le risque d'accident menace les structures au sol mais aussi les nappes phréatiques, et se heurte également à une aversion sociale marquée des populations.

L'identification ainsi faite des entités menacées reste impossible à valider et ne peut en tous les cas se vanter d'être exhaustive.

La quantification de la vulnérabilité, quant à elle, pose également de nombreux problèmes de choix méthodologiques dont voici les aspects dans chacun des trois domaines concernés [52] :

- **la vulnérabilité synthétique de l'occupation du sol**

Elle est réalisée suivant le découpage de l'occupation du sol (par exemple le Mode d'Occupation des Sols en région parisienne). Le détail d'un tel document permet d'effectuer un décompte monétaire des dommages potentiels – plus précisément des dommages exprimés en francs et en victimes humaines – par unité de surface pour chacun des modes d'occupation du sol énumérés. Les dommages calculés pour les installations font état de leur amortissement, sachant qu'au final, il est question de chiffrer un coût pour la collectivité. Les surfaces touchées par une catastrophe sont englobées dans une zone définie autour du lieu de sinistre. Les montants calculés sont fonctions :

- du coût de destruction de l'item par unité de surface,

- du coût de la vie humaine évalué par des méthodes de type assurantiel.

A l'issue, la valeur de vulnérabilité du sol est répartie dans 4 classes : valeur négligeable / moyenne / forte / très forte.

- **la vulnérabilité des nappes phréatiques**

Elle est divisée arbitrairement en 3 niveaux, dont voici les intitulés :

- niveau 1 : zone peu vulnérable, eaux bien protégées,
- niveau 2 : zone moyennement vulnérable,
- niveau 3 : zone vulnérable, très sensible à une pollution en surface.

Les informations sont hélas issues de bases de données hétérogènes, incomplètes et élaborées pour des objectifs différents. Par ailleurs, seule la perméabilité des terrains géologiques est prise en compte, sans considération des revêtements imperméables, notamment en milieu urbain.

- **la vulnérabilité socio-psychologique de l'espace ou l'aversion sociale aux risques**

Et quand bien même il serait possible de pondérer avec justesse le poids de l'aversion au risque dans l'analyse de la vulnérabilité, sa quantification reste toute relative dès lors qu'elle ne ressort pas d'un sondage d'opinion rigoureux. A défaut, on peut tenter de la définir comme un croisement de plusieurs paramètres :

- la rareté ressentie de la ressource détruite,
- le potentiel de déstabilisation sociale et économique du patrimoine détruit,
- le nombre de personnes potentiellement atteintes.

Chacun de ces trois niveaux est estimé en tout point de l'espace sur une échelle de 4 valeurs discrètes (faible / moyen / fort / très fort). La synthèse des trois niveaux définit le niveau de vulnérabilité global selon la règle de décision :

vulnérabilité des nappes phréatiques + vulnérabilité socio-spatiale + vulnérabilité de l'occupation du sol
= vulnérabilité "globale" aux risques technologiques

Les risques naturels menaçant les peuplements forestiers

Dans une perspective de zonage réglementaire des forêts à rôle de protection, l'analyse de la vulnérabilité s'assimile à la réalisation de la carte des enjeux socio-économiques [6]. Les enjeux socio-économiques représentent les résultats des activités humaines et de leurs conséquences qui peuvent être un jour ou l'autre menacés par un ou plusieurs phénomènes naturels. Ils concernent donc : les habitations, les infrastructures liées aux activités industrielles, les voies de communication, les équipements. Les données de localisation sont fournies par l'I.G.N. tandis que la nature et la description des enjeux (par ex. le type de voie de communication assorti de la fréquentation) sont à "récolter" à l'extérieur.

Finalement, la carte de vulnérabilité consiste en une **localisation géographique des enjeux en fonction de leur nature**. La note de vulnérabilité des enjeux dépend de la priorité qu'il faut accorder à leur protection.

L'analyse de la vulnérabilité des risques naturels menaçant les forêts relève ainsi du même type de démarche que celui entrevu pour le T.M.D. Nous retrouvons entre autre les problèmes liés au choix des paramètres (exhaustivité, pondération), à la représentation cartographique, à la précision des données et de l'évaluation du niveau de vulnérabilité, etc.

Les risques de feux de forêt

L'étude des risques de feux de forêt s'inscrit dans une perspective d'aménagement. Par exemple, celle-ci vise dans le cas du risque d'inondations à réduire la vulnérabilité des zones inondables par des aménagements adaptés, car l'idée du risque est relativement bien acceptée par les collectivités. En revanche, pour ce qui est des feux de forêt, la volonté d'aménager le bâti et les infrastructures en vue de se protéger des incendies n'est finalement pas tant importante que celle de réduire l'aléa de propagation des feux par l'aménagement des forêts...

L'analyse de vulnérabilité revient ainsi à **cartographier** simplement **les niveaux de vulnérabilité relatifs aux activités humaines** (concentrées autour des habitations, des voies de communications, du réseau E.D.F., etc.) qu'elles soient recensées ou seulement prévues dans un plan d'aménagement. La carte obtenue sera confrontée à celle de l'aléa afin de déterminer les niveaux de risques [63].

Cette méthode consiste donc en une analyse statique de l'existant permettant de moduler les données humaines et de végétation et de mesurer ainsi leur impact sur le niveau de l'aléa.

En termes de vulnérabilité, la méthode se cantonne à une représentation cartographique des menaces sur le bâti et les infrastructures existant ou prévisionnels.

oOo

Dans ces exemples, la vulnérabilité est appréhendée de manière expérimentale en faisant intervenir des paramètres que le bon sens juge pertinents pour l'analyse. La quantification de la vulnérabilité se cantonne à des méthodes d'analyse spatiale – essentiellement des croisements de couches – sans pour autant résoudre les problèmes liés au choix des paramètres (exhaustivité, pondération), à la représentation cartographique, à la précision des données et de l'évaluation du niveau de vulnérabilité, etc.

L'évaluation de la vulnérabilité dans une perspective décisionnelle

La méthode *Inondabilité*, actuellement utilisée pour l'élaboration des Plans de Prévention des Risques, appréhende les risques d'inondations avec le souci de repérer les zones à déficit de protection (cf Annexe 1). L'originalité de la méthode repose sur des modes de représentation identiques pour l'aléa et pour la vulnérabilité, permettant par-là de les comparer et de juger de l'exposition de chacune des parcelles aux inondations.

Dans cette méthode, l'aléa est représenté par l'emprise des zones inondées pour un panel de périodes de retour données. Dans la logique "*Inondabilité*", la vulnérabilité est alors définie comme la période de retour acceptable des inondations pour chacune des parcelles considérées. La notion introduite ici est couramment appelée "Risque Maximum Acceptable" (R.M.A.).

Il est manifeste que le R.M.A. n'est pas une grandeur observable, mais se déduit d'une démarche fondée sur une connaissance de la situation dans sa globalité. Il tient compte des paramètres physiques des inondations, de l'occupation du sol et de l'aversion au risque des populations.

Ainsi, selon ces critères, la vulnérabilité est quantifiée sur chaque parcelle par une période de retour T et une durée d d'inondation acceptables. Les valeurs attribuées en pratique s'inspirent de normes, associant par exemple les valeurs $d=3$ jours et $T=2$ fois par an aux forêts de peupliers.

De cette manière, la vulnérabilité s'exprime dans la même unité que l'aléa. Cartographiquement, chaque parcelle de la zone étudiée porte en attribut la période de retour acceptable qui lui est associée.

L'analyse de la vulnérabilité dans cette méthode est clairement adaptée à l'élaboration d'un document d'aide à la décision, confrontant les notions d'inondabilité (aléa) et d'aversion aux inondations (vulnérabilité). La quantification de la vulnérabilité relève ici de démarches systématiques, qui s'expliquent par l'usage réglementaire prévu et dont on attend des validations par retours d'expérience.

L'expression de la vulnérabilité par un taux d'endommagement

Les deux paramètres de la vulnérabilité

La vulnérabilité d'une parcelle à un phénomène donné dépend entièrement des paramètres physiques du phénomène redouté et du comportement de la parcelle soumise [66].

L'analyse de vulnérabilité n'intègre en effet de la partie aléa du risque que les **paramètres physiques** (par exemple l'amplitude, la durée, l'étendue, la rapidité du phénomène), car ceux-ci conditionnent le degré d'endommagement des entités soumises.

En termes de **préjudices humains**, le **comportement** correspond à la perception du danger, à la connaissance des moyens de s'en protéger (culture du risque), aux habitudes de vie et aux capacités de mobilité des populations.

En termes de **dommages économiques**, il est avantageux de distinguer les dommages structurels des perturbations fonctionnelles. Dans le premier cas, le **comportement** de l'unité soumise est fonction de sa propension à être endommagée et peut être évalué en première approximation grâce à la connaissance de l'occupation du sol. Les perturbations fonctionnelles sont pour leur part plus délicates à estimer, car elles dépendent à la fois de l'importance fonctionnelle de la structure considérée et de la réaction de la société pour remédier à son endommagement dans la logique post-crise.

Après identification, la caractérisation physique du phénomène et le comportement de l'unité soumise sont confrontées afin de quantifier la vulnérabilité. Dans certains cas, cette mise en relation conduit à la détermination d'un **degré d'endommagement**, conformément à des données normalisées recensées dans un tableau.

Classiquement, le degré d'endommagement s'exprime comme un taux compris entre 0 et 1, qui, appliqué à la valeur de l'unité, permet d'obtenir une estimation du montant des pertes affectées. Dans une démarche préventive, la mesure de vulnérabilité par un taux d'endommagement permet la comparaison des indices de pertes, et par inférence, une première évaluation de l'efficacité des mesures de protection et de prévention.

Les dommages structurels et préjudices corporels

Ils peuvent être évalués à partir d'échelles d'endommagement, habituellement tirées du retour d'expérience. Parmi les préjudices corporels, on trouve les sollicitations psychologiques : elles sont loin d'être négligeables, mais leur quantification reste difficile et nécessite le recours aux enquêtes. Le Tableau 7 résume deux tableaux de correspondance entre mode d'endommagement et taux d'endommagement pour le bâti soumis aux séismes.

D.R.M.			ALEXANDER	
Délégation aux Risques Majeurs (1990) Résultats pour constructions soumises aux séismes			(1988) Par référence aux constats d'endommagement dans la région de Ancona (Italie)	
Modes d'endommagement	ID	Ds	Modes d'endommagement	ID
Dommages légers non-structurels (gros œuvre non touché), stabilité non affectée	1	0,01-0,1	Fissuration des murs. Aucune distorsion des structures ou de détachements d'éléments d'architecture extérieurs.	1
			Bâtiment habitable, réparations non urgentes. Les déformations des fondations et l'inclinaison des murs ne sont pas suffisantes pour affecter la stabilité de l'ensemble de l'édifice.	2
Fissuration des murs	2	0,2-0,3	Les murs s'écartent de la verticale de 1 à 2 degrés. Des fissures importantes apparaissent dans les éléments de la structure. Les fondations sont soumises à un tassement différentiel d'au moins 15 cm. Le bâtiment nécessite une évacuation.	3
Déformations importantes Lézards largement ouvertes Évacuation nécessaire	3	0,4-0,6	Les murs s'écartent de la perpendiculaire de plusieurs degrés. Fracturation des structures. Tassement différentiel des fondations d'au moins 25 cm. Planchers inclinés de 1 à 2 degrés. Les cadres des portes et fenêtres sont trop tordus pour être utilisables. Les occupants doivent être évacués.	4
Effondrement partiel du plancher ou brèches dans les murs Désolidarisation des parties Évacuation immédiate	4	0,7-0,9	Les murs s'écartent de la verticale de 5 à 6 degrés. Les structures sont grossièrement tordues et la subsidence cause de sérieuses fissures aux planchers et aux murs. Désolidarisation possible des bâtiments en bois et leurs fondations. Les murs en briques s'effondrent partiellement. Les occupants doivent être relogés pour longtemps. La réhabilitation du bâtiment semble compromise.	5
Destruction totale Effondrement de la construction Pas de réhabilitation possible	5	1	Effondrement partiel. Nécessité d'évacuer immédiatement les occupants et d'interdire le site en prévision d'effondrements éventuels de façades.	6
			Effondrement total. Nécessité de déblaiement du site.	7

ID = intensité des dommages

Ds = taux d'endommagement structurel, estimé à partir du montant de la remise en état ou de la reconstruction

Tableau 7 : exemples d'échelles d'endommagement structurel du bâti (source : [66])

Les perturbations fonctionnelles

Il s'agit précisément des perturbations d'activités ou de fonctions à vocation économique ou autre (sociale, de transport, distribution, communication) suite aux dommages structurels et corporels des biens et des personnes qui en assurent traditionnellement le fonctionnement. Il est difficile d'anticiper la réaction de la société face à ces dommages aux conséquences complexes ; cependant, on retiendra que la durée d'une perturbation est généralement proportionnelle à la gravité des dommages. Le Tableau 8 donne une idée des ordres de grandeurs et coûts des modes d'endommagements sur le réseau routier.

Modes d'endommagement structurel	IDs	Ds	C (kF)	Modes d'endommagement fonctionnel	IDf
Dégradation de la chaussée	1	0,15	21,3	Limitation de gabarit nécessaire	1
Affaissement de la plateforme ou obstruction de la chaussée de faible volume (dizaine de m ³)	2	0,35	46,5	Interruption momentanée du trafic (en heures)	2
Obstruction de la chaussée de volume élevé (centaine de m ³)	3	0,7	97	Interruption prolongée du trafic (en jours)	3
Rupture de la plateforme	4	1	138,2	Interruption durable à définitive du trafic (en semaines ou mois)	4

IDs = intensité des dommages structurels

IDf = intensité des perturbations fonctionnelles

Ds = taux d'endommagement structurel, calculé à partir du coût de remise en état

C = coût moyen du niveau d'endommagement structurel correspondant, en milliers de francs

Tableau 8 : relations entre dommages structurels et perturbations fonctionnelles sur réseau routier – par référence aux études sur le réseau routier du Diois en France (d'après F. Leone) (source : [66])

Dans les cas présentés ici, le taux d'endommagement appliqué par les autorités ou les compagnies d'assurance est déduit des dégradations constatées après la catastrophe. Ceci fournit une première estimation économique des dommages. A cet effet, les parties concernées disposent de quantités de tableaux et fonctions d'endommagement issus du retour d'expérience : ils permettent de faire la correspondance entre dégâts déplorés et montant des dommages (nous reviendrons plus en détail sur ces aspects dans le chapitre consacré aux enjeux et aux dommages).

oOo

Dans une logique préventive (donc dans l'éventualité d'une catastrophe), le taux d'endommagement décrit la propension à être endommagé. Le taux dépend alors des caractéristiques physiques de l'aléa redouté et du comportement de l'enjeu. Ainsi, le taux d'endommagement décrit la vulnérabilité des enjeux répartis sur le territoire pour un scénario donné.

Synthèse

Les applications évoquées dénotent la faible expérience ainsi que le peu de connaissances en matière d'évaluation de la vulnérabilité. Cette situation entraîne fréquemment des analyses sommaires, surtout lorsque la vulnérabilité n'apparaît pas explicitement dans les objectifs de l'étude de risques (par exemple lors d'études de risques appliquées à la prévision, l'aménagement ou la représentation cartographique).

En revanche, lorsque l'étude s'inscrit dans des objectifs de prévention publique ou d'aide à la décision au niveau territorial, l'analyse de la vulnérabilité relève souvent de méthodes bien balisées, issues de résultats mathématiques et physiques ainsi que de réglementations.

Il demeure que, pour une grande majorité des études de risques – qu'il s'agisse d'enjeux humains, environnementaux ou économiques – la quantification de la vulnérabilité est réalisée de manière partielle par la création de classes (par ex., répartitions en zones vulnérables faibles / moyennes / fortes). Les méthodes de classification vont des simples outils descriptifs (par ex., vulnérabilité humaine échelonnée par les valeurs de densité humaine) à des techniques plus poussées de statistiques spatiales (classification automatique hiérarchique, etc.).

Globalement, l'évaluation des niveaux de vulnérabilité est totalement prospective : elle s'affranchit dans une large mesure des modèles économiques (fonctions et tables d'endommagement, données assurantielles, quantification des dommages indirects, etc.) et se limite, sous certaines hypothèses plus ou moins fortes, à donner un aperçu des niveaux de vulnérabilité relatifs sur la zone menacée à partir de quelques valeurs de référence. Faute de modélisations économiques adaptées et de retours d'expérience suffisamment fournis, ce type d'approche nécessite d'être amplement étoffé, tant au niveau de l'éventail des dommages considérés que de la manière de les quantifier.

Par ailleurs, les études réalisées en pratique intègrent souvent l'évaluation des enjeux à l'analyse de vulnérabilité. Cela a pour effet de transformer la démarche en une estimation des dommages potentiels, dont nous pensons qu'elle doit rester dissociée du concept de vulnérabilité, pour deux raisons :

- la vulnérabilité se réfère à une analyse préalable de la résistance des entités exposées à l'éventuelle catastrophe, tandis que l'évaluation des dommages prend en compte la valeur de celles-ci afin de dresser un bilan des pertes subies suite à la réalisation du risque,
- plus fondamentalement, aléa, vulnérabilité et enjeux caractérisent conjointement le risque et ses conséquences, et les actions de prévention peuvent s'articuler indépendamment sur l'une ou l'autre de ces composantes.

De fait, nous aborderons plus en détail les problèmes liés à l'évaluation des dommages dans la partie consacrée aux enjeux.

A l'issue des étapes d'identification du risque et de l'analyse de l'aléa et de la vulnérabilité, l'expert dispose de tous les éléments pour déterminer les niveaux de risque. Bien évidemment, ce travail dépend du mode de représentation des deux composantes aléa et vulnérabilité, multipliant ainsi le nombre de façons d'appréhender le risque, comme nous allons le voir dans la partie suivante.

La détermination du niveau de risque : la synthèse aléa + vulnérabilité

Il est assez difficile d'intégrer au même niveau les pertes humaines et les dégâts matériels et environnementaux à la suite d'une catastrophe. Bien souvent, une mort est considérée comme intolérable et la prévention des risques vise une sécurité absolue des populations.

Ainsi, dans une étude de risques, le facteur humain est usuellement traité séparément des dommages d'ordre "matériel" (économiques, infrastructurels, environnementaux). Nous aborderons ainsi la synthèse des risques en distinguant préjudices humains et dommages matériels.

Les risques d'atteinte à la vie humaine

A la suite de catastrophes comme dans de nombreuses activités humaines, des statistiques sur le facteur humain sont souvent dressées afin de mesurer les menaces de différents risques sur une population. L'exemple le plus connu est celui de la Sécurité Routière, qui établit chaque année un bilan des morts et des blessés sur les routes ainsi qu'une campagne de prévention et des objectifs pour l'année à venir.

En général, dans le monde de l'industrie, on mesure la probabilité d'accident mortel de manière fréquentiste : on utilise le F.A.R. (Fatal Accident Rate) correspondant au risque encouru par un groupe de 1000 personnes travaillant pendant 40 ans de vie active à raison de 2500 heures de travail par an [67]. La définition de ce taux peut être étendue aux autres activités par le nombre de morts accidentelles prévues par 100 millions d'heures d'exposition. Une illustration de cette notion est donnée dans le Tableau 9.

Nombre de morts accidentelles prévues par 100 millions d'heures d'exposition au risque	
TRAVAIL	
Industrie chimique	3,5
Agriculture	10
Pêche	35
Construction	67
TEMPS LIBRE	
Accidents domestiques	3
Déplacements en auto	57
Ski	71
Déplacements en avion	240

Tableau 9 : les statistiques sur les morts accidentelles en Grande-Bretagne (source : [19])

Ces résultats sont à manipuler avec précaution. Il est incorrect de dire que le voyage en avion est plus dangereux que le voyage en voiture. L'avion couvre en effet 800 km en 1 heure contre 100 km pour la voiture : à égalité de distance parcourue, l'avion est donc un moyen de transport plus sûr.

En ce qui concerne les travailleurs et les habitants, on distingue deux notions de risque [67] :

- **le risque individuel** : probabilité annuelle qu'une personne non protégée et se tenant à une position déterminée par rapport à la source du risque soit affectée par les conséquences du risque ;
- **le risque sociétal** : relation entre le nombre de personnes tuées dans un accident déterminé et la probabilité que ce nombre soit dépassé.

Nous aborderons ces notions plus en détail dans le paragraphe consacré à l'"acceptabilité du risque".

Exemples :

- le risque individuel de décès d'un ouvrier est de $8,75 \cdot 10^{-5}$ par an en Grande-Bretagne ;
- la valeur du risque sociétal dans les industries chimiques et pétrochimiques décrit en Tableau 10.

Fréquence annuelle	Nombre de morts
0,05	1000
0,35	100
1	50
5	10

Tableau 10 : accidents mortels dans les industries chimique et pétrochimique dans le monde (source : [19])

Ces notions sont des quantifications des niveaux de risques et constituent le fondement de réglementations et de mesures adaptées au sein d'une politique de prévention et de gestion des risques portant atteinte à la vie humaine.

Par exemple, pour les risques industriels, la démarche préconisée en France consiste à analyser l'impact d'un accident grave ("scénario de référence") sur les populations situées à proximité.

L'analyse conduit ainsi à distinguer deux paramètres [10] :

- d'une part la zone d'effets, déduite de l'étude de propagation maximale de l'accident et définie par la D.R.I.R.E. : elle permet en particulier d'organiser les secours et les plans d'intervention,
- d'autre part les zones de létalité et d'atteintes irréversibles, mettant en relief la diminution du danger à mesure que l'on s'éloigne du point source (cf Figure 6).

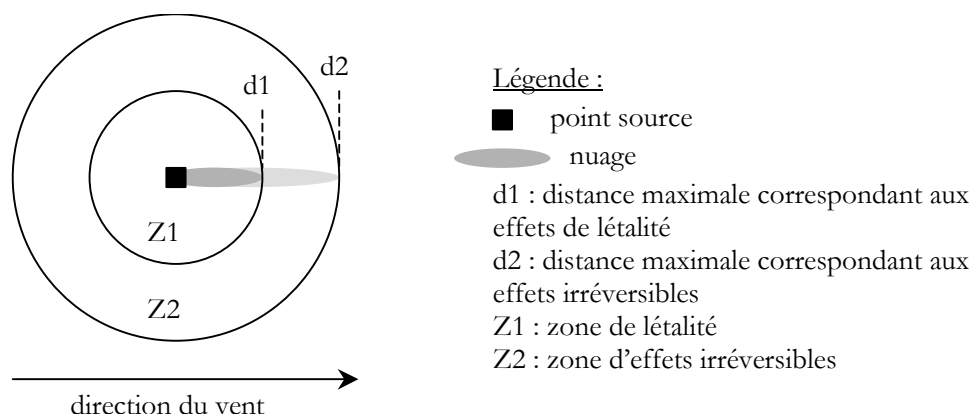


Figure 6 : détermination des zones d'effets toxiques (d'après [105] in [10])

La zone de létalité est caractérisée par une espérance de nombre décès sur la population exposée égale à 1%.

Dans la zone d'effets irréversibles, l'espérance du nombre de personnes atteintes de blessures ou brûlures irréversibles atteint 10%.

La diminution du danger avec l'éloignement du point-source du risque s'accompagne règlementairement parlant d'un relâchement des contraintes d'urbanisme.

Cette approche se distingue fondamentalement d'un autre courant en Europe, fondé sur une démarche probabiliste : celle-ci tente d'établir un compromis entre la réduction du risque et les contraintes sociales. Nous en reparlerons également à l'occasion de la partie consacrée à l'acceptabilité du risque.

Le risque comme espérance des dommages – les clés de détermination du risque

Le croisement aléa × vulnérabilité

Dans la plupart des études de risques (en majorité menées dans des objectifs de prévention), le risque se présente comme un "simple" croisement de l'aléa et de la vulnérabilité :

- **l'aléa** représente la probabilité d'occurrence d'un événement donné,
 - bien souvent, **la vulnérabilité** chiffre le montant des dommages potentiels à craindre de ce même événement, en intégrant à la fois la valeur des enjeux et leur propension à être endommagés,
- ainsi, le risque se définit logiquement par la Formule 1 :

$$\text{risque} = \begin{matrix} \text{aléa} \\ \text{probabilité d'occurrence} \\ \text{du phénomène} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{vulnérabilité} \\ \text{dommages potentiels consécutifs à} \\ \text{la réalisation du phénomène} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{espérance des dommages déplorés} \\ \text{suite à l'événement redouté} \end{matrix}$$

Formule 1 : expression scientifique du risque

L'analyse de l'aléa et, à plus forte raison, l'analyse de la vulnérabilité ont souvent conduit à quantifier aléa et vulnérabilité en les rangeant en "classes" ou "niveaux" (faible / moyen / fort / etc.) pour deux raisons principales :

- les techniques d'évaluation ne permettent pas une précision suffisante tant pour le niveau d'aléa (estimation incertaine d'une probabilité) que pour le niveau de vulnérabilité (difficulté de chiffrage exhaustif des dommages déplorés) ;
- la représentation des valeurs d'aléa, de vulnérabilité et, à terme, de risque demande à être simplifiée en vue de constituer un document d'aide à la décision, lisible par toutes les parties prenantes.

De fait, la notion de risque comme "espérance des dommages" est simplifiée par l'usage d'un tableau quantifiant les niveaux de risque en fonction des niveaux d'aléa et de vulnérabilité : il s'agit de la **clé de détermination du risque** [69]. Le Tableau 11 représente une clé de détermination à 3 niveaux pour l'aléa, la vulnérabilité et le risque (faible / moyen / fort) :

	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité faible
Aléa fort	Risque fort	Risque fort	Risque moyen
Aléa moyen	Risque fort	Risque moyen	Risque moyen
Aléa faible	Risque moyen	Risque moyen	Risque faible

Tableau 11 : exemple de clé de détermination du risque à 3 niveaux (source : [69])

Le principe des clés de détermination est communément employé dans les études de risques à certaines modifications près, relevant avant tout du risque étudié et des modes de représentation retenus pour l'aléa et pour la vulnérabilité. Les exemples qui suivent donnent un aperçu de cette méthode de quantification des risques.

Exemples

Les risques dans l'industrie agro-alimentaire

Le danger est représenté par un agent biologique, chimique ou physique ayant un potentiel de provoquer des effets néfastes pour la santé (risque sanitaire) ou la qualité (risque technologique), et susceptible d'être présent dans un aliment ou un groupe d'aliments [38].

Le risque correspond au "produit" de la probabilité de survenue de l'expression du danger et de la gravité de ses conséquences. Chacune de ces deux composantes étant quantifiée de manière discrète, l'évaluation du risque résulte d'une clé de détermination.

Aléa et vulnérabilité des risques menaçant une chaîne agro-alimentaire sont divisées en 4 niveaux : négligeable / faible / modéré / élevé. Le **niveau de risque** est lui-même **discrétisé** selon ces 4 niveaux et sa détermination obéit au principe du cas le plus défavorable lorsqu'une simple moyenne des 2 niveaux ne "tombe pas juste" (ex. : aléa faible + vulnérabilité modérée ⇒ risque modéré), conformément au Tableau 12.

		Conséquences			
		Négligeables	Faibles	Modérées	Elevées
Probabilité de survenue du danger	Négligeable	N	F	F	M
	Faible	F	F	M	M
	Modérée	F	M	M	E
	Elevée	M	M	E	E

Tableau 12 : clé de détermination dans un processus agro-alimentaire (source : [38])

Cette évaluation sommaire des niveaux de risque peut constituer une première étape dans l'identification des risques d'un processus industriel agro-alimentaire. Comme nous l'avions annoncé dans le chapitre consacré à l'aléa, les défaillances de tels processus peuvent être étudiés plus avant par l'utilisation de méthodes mathématiques (arbres d'événements, arbres des défauts, simulations de Monte-Carlo, etc.) qui n'entrent pas dans le propos de ce rapport.

Les risques naturels menaçant les peuplements forestiers

Ce type de risque, déjà évoqué à titre d'exemple dans les analyses d'aléa et de vulnérabilité, a conduit les laboratoires du C.E.M.A.G.R.E.F. à établir une carte des zones d'interventions forestières prioritaires. L'objectif est de réhabiliter les zones forestières à fonction de protection en regard des différentes menaces naturelles (avalanches, mouvements de terrain, chutes de pierre, etc.).

La mise en commun des analyses d'aléa et de vulnérabilité ne consiste donc pas directement à établir un document synthétique des risques mais à repérer les unités forestières menacées par les risques naturels et à les hiérarchiser en fonction de leur rôle de protection vis-à-vis de ces mêmes risques [6].

La synthèse consiste donc à établir un **classement** des zones à partir :

- de la note d'indice de maîtrise d'un risque naturel donné,
- de la vulnérabilité de l'enjeu menacé,
- de la note de stabilité du peuplement forestier.

Au-delà des composantes aléa et vulnérabilité, un tel travail intègre donc en plus les caractéristiques des forêts en termes de protection naturelle, à savoir leur aptitude à maîtriser les risques ainsi que leur stabilité.

Les risques de feux de forêt

Ce risque a également été présenté sous ses deux aspects (aléa + vulnérabilité) dans les parties précédentes. Nous rappelons au passage que :

- la méthode élaborée vise à décrire au mieux le caractère aléatoire des feux :
 - décomposé en éclosion, propagation initiale et propagation libre,
 - paramétré par la présence d'activités humaines, la nature des combustibles et l'exposition et la vitesse du vent ;
- l'intégration de la vulnérabilité s'inscrit dans une approche de l'espace menacé par le risque et modulable par l'aménagement.

De fait, le risque est dans un premier temps "assimilé" à l'aléa. Celui-ci est une synthèse des 3 niveaux décrits (aléa de départ, aléa de propagation initiale, aléa de propagation libre) selon une clé de détermination, elle-même déterminée à partir des différents facteurs paramétrant l'aléa.

La vulnérabilité est ensuite intégrée à l'aléa par croisement du zonage des activités humaines avec le type de situation relative à la propagation initiale du feu [63]. Ce croisement fournit une première **délimitation des situations critiques**, dont on mesure l'évolution en terme d'exposition au risque et conditionnellement aux décisions d'aménagement.

Trois cas typiques peuvent se présenter à la suite de la construction d'une maison :

- l'implantation hypothétique de la maison dans la région étudiée peut modifier le zonage des situations critiques si cette implantation se situe à un endroit où la propagation d'un feu potentiel est favorable ;
- l'implantation hypothétique ne modifie pas la situation si elle est concernée une zone à situation peu critique ;
- l'implantation hypothétique peut impliquer des aménagements de lutte en vue de sa protection si elle concerne une zone à situation critique.

A terme, cette étude appelle la superposition des cartes de l'aléa et des vulnérabilités pour la mesure effective du risque, dans une perspective de gestion de l'espace au sein des P.O.S. grâce aux P.P.R.

Les risques d'inondations dans une perspective prévisionnelle

Nous avons déjà abordé le problème des prévisions d'inondations à l'occasion de la détermination des paramètres impliqués dans l'aléa. L'objectif de la méthode étant focalisé sur la prévision, l'aléa se présente comme une conjonction entre l'existant topographique & hydrologique et les phénomènes aléatoires mesurés ou prévus à court terme.

Par conséquent, il n'est plus question d'aménager et de décider en fonction d'un risque redouté et bien quantifié, mais de prévoir le plus longtemps à l'avance un phénomène inéluctable. L'analyse de la vulnérabilité passe ainsi au second plan et se fonde tantôt [2] :

- dans la gestion du risque : il s'agit d'apprécier rapidement les dégâts occasionnés sur le terrain,
- dans la simulation d'inondations : l'analyse préalable des facteurs impliqués dans l'aléa permet de simuler raisonnablement des débordements de rivières et accessoirement d'avoir une idée des dégâts consécutifs.

Cependant, la prévision ou la simulation d'inondation se heurte au problème d'évaluation correcte de l'ampleur de la crue tout le long de la rivière (la crue n'est évidemment pas homogène sur le parcours de la rivière). Cela constitue un facteur limitant dans la précision de la méthode et "allège" d'autant plus la grossière estimation de la vulnérabilité requise pour les deux applications citées plus haut.

La vulnérabilité pourra par exemple être esquissée en répertoriant les dégâts occasionnés selon l'occupation du sol, proportionnellement :

- au kilométrage de voies ferrées et de routes,
- aux superficies touchées par catégorie d'occupation du sol.

La cartographie du risque apparaît finalement comme un premier **zonage des sites menacés** par une crue prévue ou simulée. D'une analyse fine de l'aléa conditionnellement aux paramètres explicatifs des crues, l'étude prévisionnelle du risque aboutit donc dans son volet applicatif à une estimation approximative des dégâts attendus à la suite d'inondations prévues ou simulées.

Le risque comme dépassement de seuils et la notion de risque maximum acceptable (R.M.A.)

Principe du R.M.A.

Dans le chapitre consacré à la vulnérabilité, nous avons évoqué un ensemble de risques étudiés dans une perspective de prévention de l'environnement et des populations, et faisant de ce fait l'objet de réglementations sous la forme de valeurs seuils à ne pas dépasser. Les exemples donnés concernaient les risques nucléaires civils et l'écotoxicologie, mais le champ est large et concerne tout aussi certains risques alimentaires, sanitaires ou de pollution atmosphérique.

- Parce que ces risques touchent des vies humaines à l'encontre desquelles les menaces sont intolérables,

- parce que ces risques menacent l'environnement et indirectement l'équilibre de l'écosystème et la santé des populations,
 - parce que la vulnérabilité résultante est bien trop importante pour "courir le risque",
- ces risques sont quantifiés par des indicateurs et les actions de prévention consistent à les surveiller comparativement à des seuils définis légalement.

Pour illustrer le propos, reprenons les deux exemples abordés précédemment.

Exemples

Les risques nucléaires civils

La prise de conscience du danger potentiel d'une exposition excessive aux rayonnements ionisants a amené les autorités à fixer des normes réglementaires pour les limites de doses. Ces limites correspondent à un risque supplémentaire minime par rapport au risque naturel, ce qui le rend donc acceptable (cette notion de "risque acceptable" sera introduite par la suite).

En France, les normes légales de radioprotection donnent [23] :

- une limite de dose efficace de 5 mSv/an pour la population et de 50 mSv/an pour les personnes directement affectées aux travaux sous rayonnements ionisants (industrie nucléaire, radiologie médicale) ;
- une limite de dose équivalente (organe) de 150 mSv pour le cristallin et 500 mSv pour la peau, les mains.

Le législateur divise par 10 les doses admissibles pour la population car il considère que celle-ci comporte des sujets de tous âges, de tous états de santé et pas forcément bien suivis médicalement...

L'écotoxicologie

Le risque écotoxicologique correspond à la menace de substances toxiques présentes dans l'environnement.

Ainsi, le risque dépend de 2 distributions de probabilités comme le montre la Figure 7.

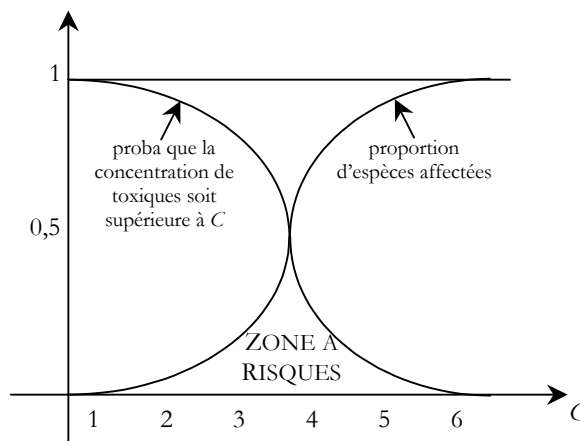


Figure 7 : l'expression du risque en écotoxicologie (source : [103])

Le risque se situe au niveau de la zone de recouvrement des 2 courbes, c'est-à-dire pour les valeurs de C de probabilité importante en regard de la proportion d'espèces affectées.

Bien évidemment, on ne pourra jamais éviter des concentrations C de substances toxiques quasi-nulles – pour lesquelles la proportion d'espèces affectées reste heureusement faible – mais on peut définir une valeur seuil pour C , au-delà de laquelle on considère que cette proportion devient inacceptable.

En pratique, le risque est quantifié par :

- la valeur de concentration prédictive de substances toxiques dans l'environnement, fondée sur le résultat d'une modélisation – elle est notée *PEC*,
- la définition d'une concentration de substances toxiques sans effet sur l'environnement, fondée sur quelques essais biologiques – elle est notée *PNEC*.

Alors, le risque existe si : $\frac{PEC}{PNEC} \geq 1$ c'est-à-dire si $\frac{[C]_{\text{prédictive}}}{[C]_{\text{sans effet}}} \geq 1$.

Le rapport $\frac{PNEC}{PEC}$ est appelé "marge de sécurité".

Selon la réglementation, *PNEC* est défini de telle sorte que pas plus de 5% des espèces soient concernées par le risque. La Figure 8 montre comment est déterminée la concentration seuil *PNEC*.

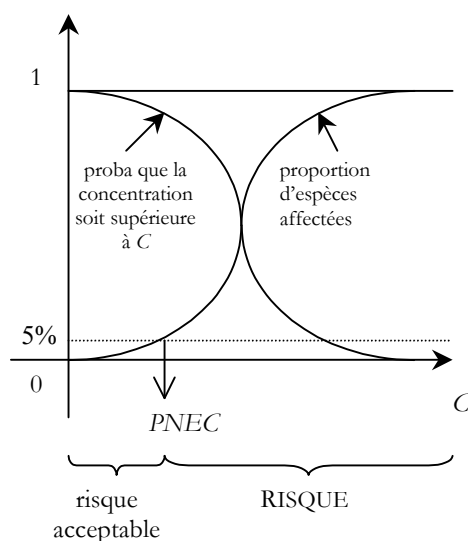


Figure 8 : détermination de la concentration seuil d'un risque écotoxicologique (source : [103])

La notion de risque maximum acceptable (R.M.A.) dans la méthode *Inondabilité*

Aléa et vulnérabilité s'expriment tous deux comme une période de retour d'inondations :

- concernant l'aléa et pour une parcelle considérée, la période de retour est directement liée à l'estimation de la fréquence de la crue (c'est-à-dire la probabilité annuelle de survenance de la crue),
- concernant la vulnérabilité et pour la même parcelle, la période de retour est la valeur seuil au-delà de laquelle on n'accepte plus que la parcelle soit inondée.

A partir des valeurs obtenues sur chaque parcelle, il est aisé de distinguer 3 zones [45] :

- les zones non inondées : aléa = 0,
- les zones inondées de façon acceptable : aléa < vulnérabilité \Leftrightarrow on parle de risque négatif et de zones surprotégées ou à "crédit de protection",
- les zones inondées de façon inacceptable : aléa \geq vulnérabilité \Leftrightarrow on parle de risque positif et de zones sous-protégées ou à "déficit de protection".

La méthode *Inondabilité* repose sur le principe de R.M.A. (Risque Maximum Acceptable) déjà introduit dans le chapitre consacré à la vulnérabilité. Il s'agit d'une démarche comparable à celle employée dans la prévention des risques par l'établissement de valeurs seuils (type "risque de rayonnements radioactifs" ou "pollution environnementale"), à ceci près que la méthode *Inondabilité* considère la spécificité de chacune

des parcelles menacées par le risque. L'ensemble de ces approches aborde la notion de risque "acceptable" qui fera l'objet d'un paragraphe ultérieur.

L'aide à la décision

Après avoir identifié, évalué et quantifié le risque, les experts élaborent une représentation du risque sous la forme d'un document synthétique, comparatif ou cartographique, qui constituera la base de réflexion des décideurs et des aménageurs. L'étude de risque entre alors dans la phase d'aide à la décision.

Compte-tenu des documents qui leur sont remis, les gestionnaires manifestent différentes réactions face au risque considéré. Grossièrement, les attitudes évoluent de la prise de position neutre à une opposition plus ou moins forte au risque.

En ligne de compte entrent notamment [7] :

- le degré de précision de l'étude de risque. Il peut s'agir :
 - d'une étude en information préalable parfaite → tous les éléments sont réunis afin de formaliser l'impact des décisions par un calcul bayésien de coûts ;
 - d'un traitement des incertitudes relatives au risque sans étude préalable des conséquences → une référence au moins limitée aux conséquences du non-respect des seuils de probabilités acceptables est nécessaire pour compléter l'étude.
- la sensibilité des résultats aux hypothèses, aux incertitudes d'échantillonnage, au modèle probabiliste, à la représentativité, à l'expression des conséquences, etc.

L'analyse coûts-bénéfices

La manière d'appréhender le risque dans une optique de prévention dépend pour beaucoup d'une quantification économique des décisions possibles. Ce calcul est un compromis entre le coût des aménagements et les pertes déplorées en cas de sinistre. Formellement, la démarche relève de l'"économétrie de la prévention", définie comme l'évaluation des effets attendus ou observés d'actions préventives en termes de coûts et de "bénéfices" (recettes) et de leur intérêt économique global, par comparaison entre des solutions – en particulier celle consistant à ne rien faire.

L'exemple ci-dessous schématise très simplement la comparaison des coûts et bénéfices économiques de deux solutions envisageables à un problème d'aménagement donné [7].

Énoncé

Une route franchit une rivière au niveau d'un pont non protégé. L'aménageur local se demande s'il est judicieux économiquement de construire une protection sur le pont, étant donnés le coût d'aménagement, la fréquence des accidents de camion et les pertes déplorées selon qu'il y ait ou non une protection.

Il y a donc deux événements possibles quantifiés par leur probabilité d'occurrence :

- la chute de camion dans la rivière,
- la "non-chute" de camion dans la rivière ;

et deux décisions d'aménagement dont on connaît les coûts :

- ne rien faire,
- aménager une protection autour du pont.

Le coût global est alors estimé pour chacun des 4 scénarios et recensé dans un tableau d'analyse des décisions (cf Tableau 13).

		Événement et probabilité P associée	
		Chute ($P=0,1$)	Non-chute ($P=0,9$)
Décision	Pas de protection	coût = 50	coût = 2
	Construction d'une protection	coût = 15	coût = 5

Tableau 13 : tableau d'analyse des décisions relatives à l'aménagement d'un pont (source : [7])

Résolution

Chaque action préventive a un coût égal à la somme :

- des coûts d'aménagement conséquents,
- des coûts enregistrés à la suite de tous les événements possibles et pondérés par leur probabilité d'occurrence.

Dans le tableau ci-dessus, le coût d'aménagement de la protection est intégré au coût global des scénarios concernés. On enregistrera ainsi :

- pour la décision de construire une protection, un coût de : $5 \times 0,9 + 15 \times 0,1 = 6$,
- pour la décision de ne rien faire, un coût de : $2 \times 0,9 + 50 \times 0,1 = 6,8$.

Le risque étant ici quantifié par l'espérance du coût économique global, la décision associée la plus avantageuse est de construire une protection.

Les risques d'une mauvaise décision

Bien évidemment, la quantification du risque ainsi que les solutions envisageables procèdent de démarches plus complexes, plus délicates et moins objectives, à l'image des difficultés rencontrées dans les étapes d'analyse de l'aléa et de la vulnérabilité.

Par exemple, l'évaluation de la pertinence d'une décision peut intégrer non seulement l'éventualité d'avoir pris une mauvaise décision en regard du risque encouru, mais aussi celle d'avoir pris une décision trop contraignante lorsque le risque n'est pas aussi fort que prévu.

Ce schéma correspond aux deux types d'erreurs formalisées en statistiques pour l'acceptation ou le rejet d'une hypothèse H :

- **l'erreur de 1^{ère} espèce ou erreur de type α** : le décideur rejette l'hypothèse H alors que celle-ci est vraie,
- **l'erreur de 2nde espèce ou erreur de type β** : le décideur accepte l'hypothèse H alors que celle-ci est fausse.

Exemple

Cette double facette de la prise de décision se retrouve dans les problèmes de qualité rencontrés dans l'industrie, et consistant à décider au mieux si un produit doit être commercialisé ou mis au rebut.

Les différentes situations sont synthétisées dans le Tableau 14.

		Décision	
		Le produit est bon	Le produit est mauvais
Situation réelle	Le produit est bon	OK	Risque du producteur
	Le produit est mauvais	Risque du consommateur	OK

Tableau 14 : récapitulatif des risques à prendre en compte dans la commercialisation d'un produit (source : [38])

S'agissant de décider si le produit est bon (hypothèse H de travail) et peut donc être commercialisé, le décideur est confronté :

- au risque de mettre à tort le produit au rebut : c'est le risque du producteur (erreur de type α) qu'il s'agira de réduire afin de minimiser les pertes économiques,

- au risque de commercialiser le produit à tort : c'est le risque du consommateur (erreur de type β) qu'il s'agira de réduire afin de satisfaire le client et crédibiliser le produit.

Cependant, les moyens d'action pour réduire un risque ne se limitent pas à prendre des décisions d'aménagement relevant d'une politique de protection.

Rappelons ici un des points essentiels de l'étude des risques, selon lequel **les moyens d'action pour réduire le risque se déploient autour de ses deux composantes** et peuvent ainsi consister :

- à réduire l'aléa, en effectuant par exemple des travaux d'aménagements,
- à réduire la vulnérabilité, en modifiant par exemple l'occupation des sols.

Le scientifique et le politique au cœur de la décision

Ces quelques remarques sont bien loin d'être exhaustives et permettent de pressentir la complexité de l'étude de risques – tant au niveau scientifique qu'au niveau politique ainsi qu'à la frontière de ces deux domaines d'intervention. La question que nous souhaitons soulever à cette occasion pourrait être : "Comment s'articulent l'expertise scientifique et la décision politique dans les problématiques de crise ?", ou en d'autres termes : "Y a-t-il un langage commun possible entre l'expert et le politique ?".

Il apparaît que le passage de l'expertise scientifique à la décision politique entraîne une dégradation de l'approche scientifique du problème de risque posé [29].

Ce passage peut se décomposer en trois étapes :

- **détermination scientifique du risque**, représentation des phénomènes intervenant dans le processus de traitement du risque (archives, données physiques, collecte d'information, photos aériennes...) → établissement d'un scénario de risque majeur ;
- **introduction de paramètres économiques** par le biais des enjeux → détermination des techniques de prévention adaptées au scénario retenu ;
- **discussion des propositions techniques** par les élus, gestionnaires et aménageurs afin de les adapter et de les mettre en œuvre.

L'expert peut ressentir certaines "frustrations" à chaque "changement d'étape" :

- le passage de l'étape 1 à l'étape 2 consiste en une quantification économique des scénarios de risques et est bien souvent considérée comme réductrice, en ce sens qu'elle dépouille l'étude de son formalisme scientifique,
- le passage de l'étape 2 à l'étape 3 semble écarter le rôle de l'expert, au point que le(s) scénario(s) retenu(s) pour l'élaboration des mesures et réglementations préventives peut (peuvent) différer du scénario de risque majeur retenu par l'expert.

Cette décomposition de l'étude de risque semble écarter progressivement le rôle du scientifique au profit du rôle du politique. Ce n'est qu'en partie vrai, car la tendance actuelle amorcée par le Ministère de l'Environnement vise à favoriser les échanges entre les différents acteurs autour du risque. Par exemple, l'expert peut manifester sa désapprobation quant au scénario retenu par les politiques. Le débat autour du risque devient par là une négociation même du risque. A cet effet, le projet de guide méthodologique des P.P.R. du Ministère de l'Environnement précise : *"La discussion avec les communes, et quelquefois d'autres partenaires, jointe à la déconcentration totale de la procédure et à la diversité de l'approche du risque par les citoyens, conduit à un risque "négocié" localement, dans les limites fixées par l'État "central" dont les guides relatifs à la mise en œuvre des P.P.R. participent."*

Cependant, au sein des négociations dont l'enjeu reste d'établir des passerelles entre expertise et décision, les confusions demeurent, à commencer par le vocabulaire foisonnant du risque : risque, aléa, phénomène, événement, danger, risques objectifs / risques subjectifs, risques perçus / risques réels... De fait, l'expert tente de représenter et d'actualiser le risque, simplement perçu par les populations au travers de la mémoire collective et des craintes de catastrophes futures. A cet effet, les représentations fournies par l'expert relèvent aussi bien :

- d'exactitudes scientifiques,

- de procédures réglementaires,
- de récits populaires.

Dans cette démarche, on déplore encore la faible prise en compte du public dans les procédures de traitement de risque, malgré la loi du 22 juillet 1987 sur la prévention des risques majeurs accordant le droit à l'information : les actions se cantonnent en effet à des procédures pénales et la constitution d'association de victimes après une catastrophe. Cette mise à l'écart du débat découle directement du fait que les usagers considèrent leur sécurité implicitement assurée. Au passage, on devine ici l'importance croissante des notions de culture et de perception du risque que nous aborderons dans un chapitre ultérieur.

Pour clore la présentation de ce volet "aide à la décision", nous proposons de recadrer deux études de risque abordées auparavant dans les perspectives de décision, de réglementations et d'aménagement pour lesquelles elles sont réalisées.

Exemples pratiques d'analyses de risques pour l'aide à la décision

Les risques naturels menaçant les peuplements forestiers

L'étude de ce risque a pour objectif de réhabiliter les zones forestières à fonction de protection vis-à-vis des risques naturels. La méthode présentée dans les chapitres consacrés à l'aléa et la vulnérabilité a été développée par le C.E.M.A.G.R.E.F. et a fait l'objet de validations dans la détermination des indices de protection pour plusieurs scénarios fixés. A terme, la méthode de zonage pourrait être valorisée au sein des P.P.R. comme outil d'aide à l'élaboration de prescriptions et de recommandations sylvicoles [6]. Dans ce sens, les élus demandent que soient intégrées dans les P.P.R. des règles pouvant s'appliquer à la gestion des forêts ayant un rôle de protection (règles concernant, par exemple, les coupes ou les créations de pistes), qu'il s'agisse de domaines forestiers ou non, publics ou privés.

La méthode *Inondabilité*

Nous avons vu précédemment que cette méthode conduisait à l'élaboration d'une carte comparative des notions d'aléa et de vulnérabilité, faisant apparaître 3 types de zones (non inondées / inondées de façon acceptable / inondées de façon inacceptable).

De cette manière, aménageur et décideur disposent d'un document cartographique lisible, facilitant la hiérarchisation des priorités d'aménagement, la mise en place de structures de protection et la détermination des zones d'intervention prioritaires [46].

La prise en compte des enjeux économiques dans une étude de risques

Au cours des différents exemples abordés précédemment, nous avons souvent assimilé la prise de décision au choix du meilleur compromis économique. Manifestement, à compter que les risques étudiés fassent avant tout l'objet de politiques de prévention et que le fait d'enregistrer des pertes humaines soit intolérable, le gestionnaire va tenter de minimiser les coûts correspondant aux investissements de prévention et aux dommages déplorés suite aux sinistres.

La fonction à minimiser est le coût global des dégâts. Cette fonction est calculée à occupation du sol constante et dépend de la période de retour T de l'événement redouté contre lequel on choisit de se protéger [7][45]. Elle est la somme :

- **du coût moyen annuel pour se protéger** contre l'événement redouté, caractérisé par sa période de retour T : il croît évidemment avec T ,

- **des dommages résiduels annuels moyens** : ils sont une fonction décroissante de T car la protection contre un événement de période de retour T évite l'endommagement des enjeux pour les événements de période de retour inférieure ou égale.

La Figure 9 fait apparaître la courbe des dégâts comme la somme des courbes de protection et de dommages. Le minimum en T de la courbe des dégâts correspond à l'**objectif de prévention recherché**.

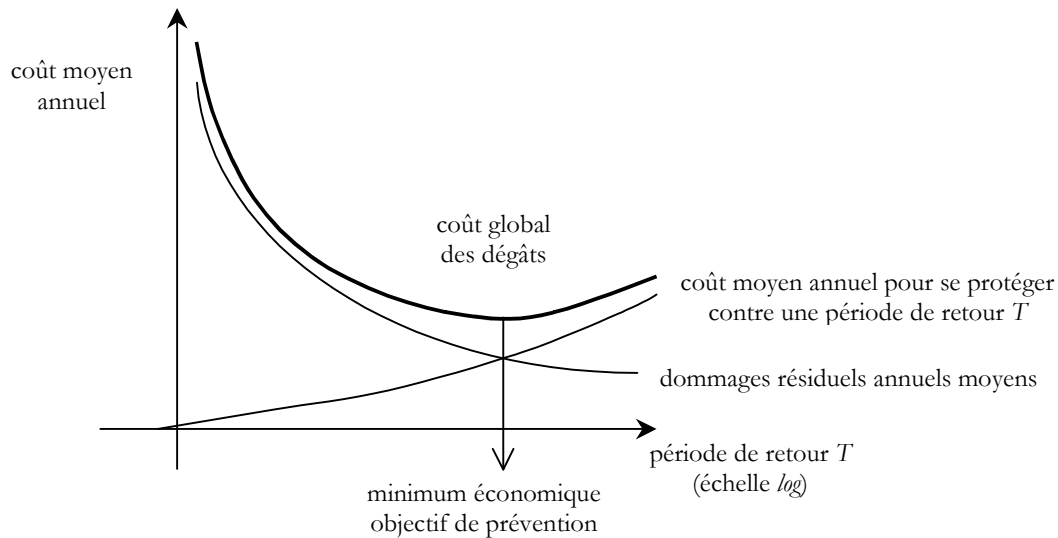


Figure 9 : courbe des dégâts (ou d'endommagement) à occupation du sol constante (source : [45])

Elle nous permet d'introduire la fameuse "**spirale de l'aménagement**" à laquelle sont soumises les aménageurs. L'aménagement de protection conduit en effet à une succession de phénomènes aboutissant finalement à considérer des objectifs de prévention de plus en plus grands... donc à aménager de plus en plus ! [7][45]

Effectivement, si l'on choisit d'aménager en vue de mieux se protéger contre une période de retour T_{obj} :

- le coût moyen annuel de protection diminue par définition,
- les dommages résiduels annuels moyens augmentent en raison de la vulnérabilité accrue par les aménagements réalisés,
- graphiquement, l'intersection des deux courbes de coûts correspondant à l'objectif de prévention se déplace vers des périodes de retour de référence plus élevées,
- la nouvelle période de retour T'_{obj} exige des solutions encore plus coûteuses en termes d'aménagement.

L'ensemble de ce raisonnement est schématisé par la Figure 10 et illustré par la Figure 11 dans le cas d'aménagements pour se prémunir des crues d'un fleuve [47]. Le lecteur notera l'augmentation conséquente de la vulnérabilité des espaces.

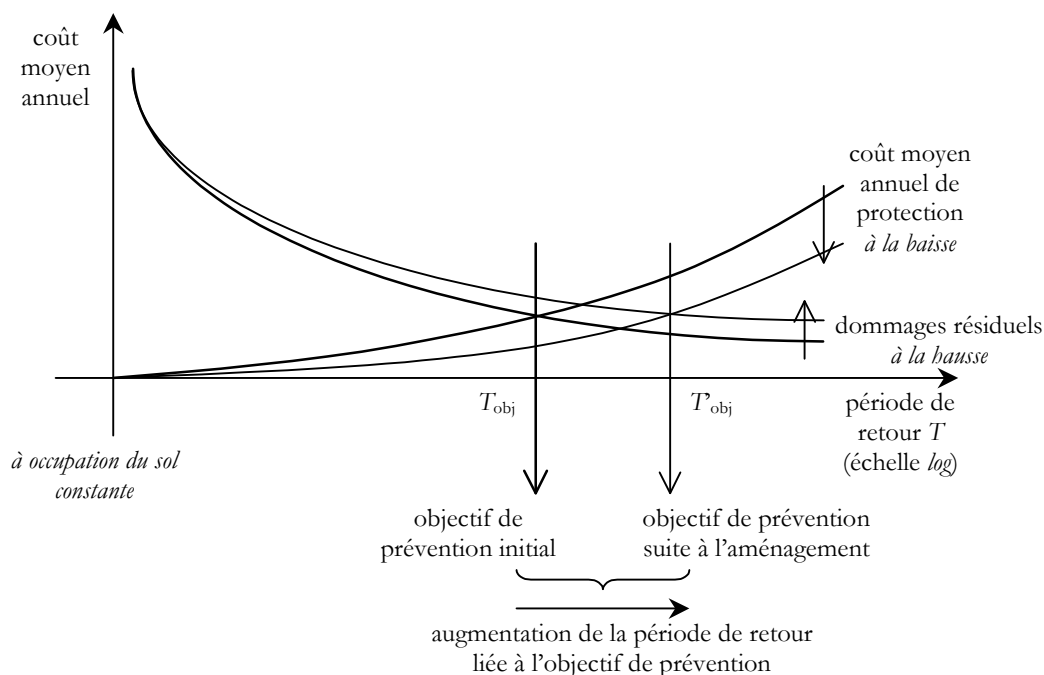


Figure 10 : principe de la spirale de l'aménagement (source : [45])

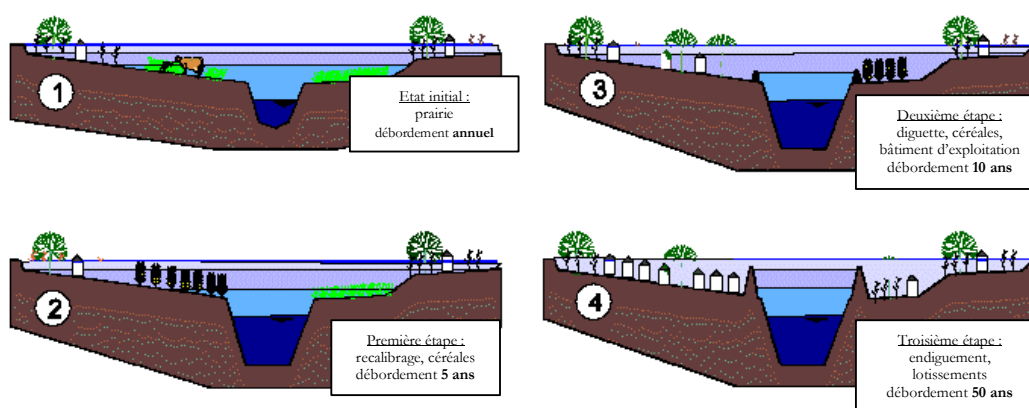


Figure 11 : illustration de la spirale de l'aménagement, préventif des risques d'inondations (source : [47])

Un deuxième paradoxe contraint les prises de décisions en terme d'aménagement et concerne la gestion de l'aléa du risque à prévenir.

Si le gestionnaire choisit en effet de diminuer le risque en réduisant l'aléa à un endroit donné, il y a de fortes chances pour que l'aléa augmente à un autre endroit [45].

C'est le cas dans des solutions de déviation d'écoulements d'eau et de de neige reportant ailleurs les inondations et les avalanches. Ce facteur correctement maîtrisé offre au décideur la possibilité de reporter le risque sur des zones moins vulnérables, à l'image de la régulation des barrages permettant d'inonder les zones en amont d'une grande ville lorsque des pluies exceptionnelles saturent les cours d'eau.

L'acceptabilité du risque

L'attitude adoptée par le gestionnaire face au risque relève pour beaucoup de critères économiques. Il n'en demeure pas moins qu'une grande part des analyses de risque est laissée au libre jugement des décideurs, notamment lorsqu'il s'agit d'évaluer les menaces d'atteinte à la vie humaine.

La question est donc de savoir à partir de quelle menace doit-on considérer le compromis {fréquence de l'événement + pertes enregistrées} comme intolérable. La notion est celle du "risque acceptable" et matérialise la limite du domaine de compétence de l'expert vis-à-vis du rôle du gestionnaire.

Tandis que le scientifique décrit le niveau de risque, il revient au gestionnaire de risques (typiquement le préfet) de définir si ce niveau de risque est acceptable ou non [103].

Des risques égaux et pourtant différents

Le croisement multiplicatif aléa et vulnérabilité attribue des mêmes niveaux de risque aux combinaisons aléa fort + vulnérabilité faible et aléa faible + vulnérabilité forte [27]. En pratique, il semble plus raisonnable d'adopter une formulation plus générale (cf Formule 2).

$$\text{Risque} = f(\text{aléa}, \text{vulnérabilité})$$

Formule 2 : généralisation de la formulation mathématique du risque (source : [27])

La fonction f s'adapte alors au contexte de l'étude. Elle permet entre autre de définir des courbes d'isorisques (cf Figure 12), dont une en particulier constitue la frontière entre risques acceptables et inacceptables. Cette délimitation résulte de choix politiques.

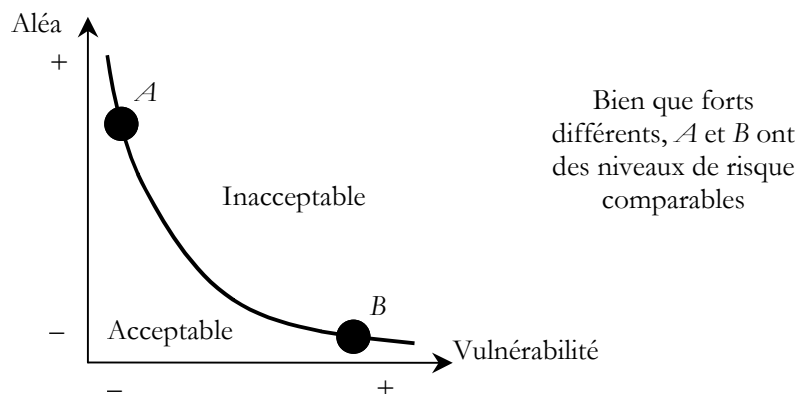


Figure 12 : courbe d'isorisque (source : [27])

Formalisation de l'acceptabilité du risque au moyen de la composante probabiliste

Ainsi, la notion de risque acceptable s'inscrit de manière naturelle au sein d'un compromis aléa (probabilité de l'événement) – vulnérabilité (dommages déplorés).

Globalement, la société acceptera facilement un risque d'autant plus important qu'il sera faiblement probable (ou inversement), mais certainement pas un risque à la fois conséquent et fréquent ! Ce principe se retrouve schématisé dans la Figure 13.

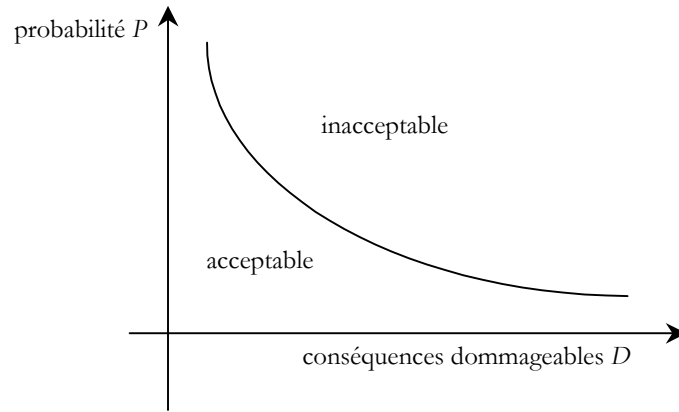


Figure 13 : représentation de l'acceptabilité du risque dans le plan probabilité-dommages (source : [7])

Les notions de risque individuel et sociétal

Principes

En matière d'atteinte à la vie humaine, certaines réglementations fixent parfois des critères d'acceptabilité du risque, qu'il soit individuel ou sociétal. Il est important de noter que les échelles proposées dans la Figure 14 et la Figure 15 sont loin de faire l'unanimité en France.

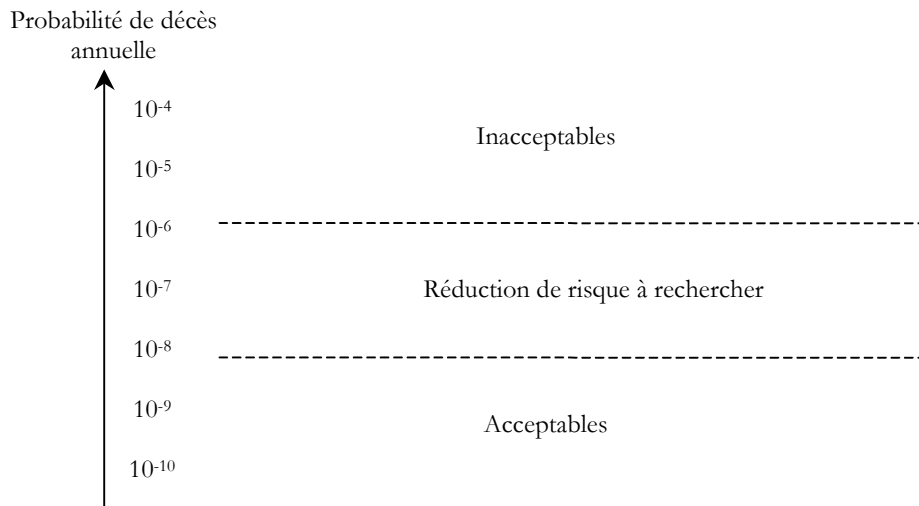


Figure 14 : critère d'acceptabilité du risque individuel (source : [67])

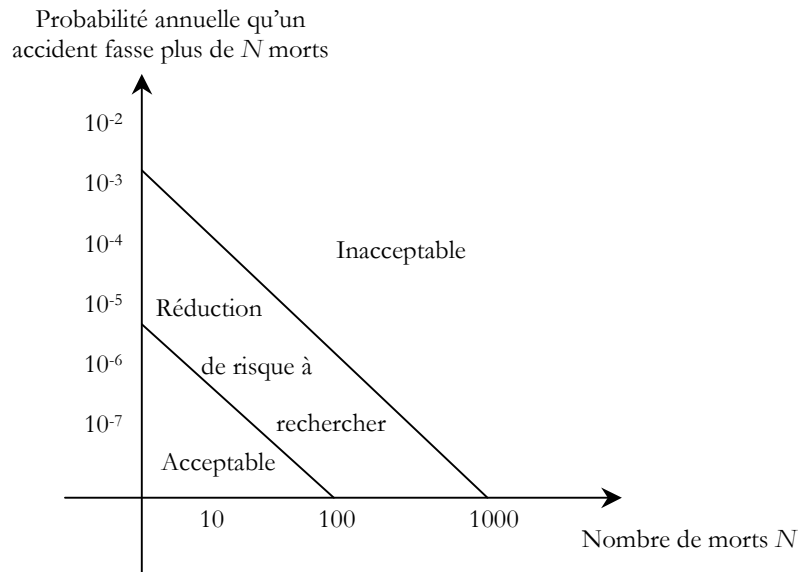


Figure 15 : critère d'acceptabilité du risque sociétal (source : [67])

Le lecteur attentif aura peut-être noté la plus grande importance accordée aux événements à faible probabilité et à conséquences élevées. La fréquence d'occurrence d'une catastrophe doit en effet être d'autant plus petite proportionnellement au nombre de victimes que ce même nombre de victimes est élevé.

Exemple : la gestion des risques industriels majeurs aux Pays-Bas

L'analyse des risques industriels aux Pays-Bas conduit à établir un nombre prévisionnel de morts par an, aux niveaux individuel d'une part et sociétal d'autre part.

Historiquement, la population des Pays-Bas est fortement marquée par le "sentiment social", produit de la communauté nationale soudée face aux catastrophes naturelles et technologiques. De fait, il existe une réelle préoccupation des habitants pour l'environnement et le bien commun [5].

L'approche néerlandaise : rigueur et cohérence des principes

A la suite d'études importantes pour gérer les risques liés aux activités dangereuses et développer des méthodes de quantification des risques, le Parlement néerlandais a adopté en 1984 trois principes de bases en matière de politique pour la sûreté externe [8] :

- l'utilisation d'une évaluation quantitative pour déterminer les risques ;
- l'adoption de deux indicateurs : le risque individuel et le risque sociétal ;
- la définition de critères d'acceptabilité pour ces deux indicateurs.

La gestion des risques est ainsi réalisée en 5 étapes :

- 1- identification des risques,
- 2- mesure des risques individuel et sociétal,
- 3- évaluation du niveau de risque en regard des critères d'acceptabilité,
- 4- en cas de risque inacceptable, mesures de réduction de l'aléa (au niveau de la source du risque) ou de la vulnérabilité (au niveau de l'usage des sols),
- 5- maintien d'un niveau de risque acceptable.

La mesure des risques identifiés

• **Risque individuel**

= probabilité annuelle pour un individu demeurant 24h/24 en un lieu non-protégé proche de l'installation industrielle soit tué à la suite d'un accident lié à son activité [8].

Le risque individuel dépend ainsi de la localisation géographique *relative* (mais pas des distributions spatiales de population) et est classiquement représenté sous forme d'une carte d'iso-risque (cf Figure 16).

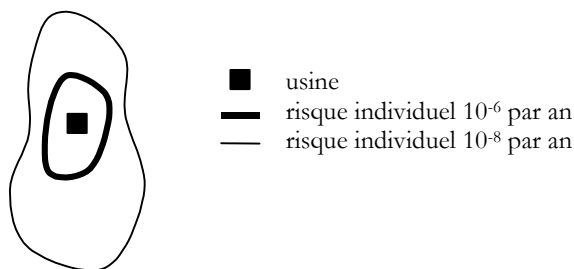


Figure 16 : contours d'iso-risque individuel (d'après [105] in [8])

• **Risque sociétal**

= probabilité annuelle qu'un groupe de plus de N personnes soit tué par un accident majeur lié à l'activité industrielle considérée [8].

Il est représenté sous la forme d'une courbe F/N (dite "de Farmer") où sont mises en relation le nombre de personnes tuées (en abscisse) et la probabilité annuelle que ce nombre soit dépassé (en ordonnée).

A l'opposé du risque individuel, le risque sociétal ne dépend pas de la localisation géographique *relative* mais de la distribution spatiale de la population autour des établissements industriels dangereux (localisation géographique *absolue*).

La prise en compte des facteurs de limitation des risques conduit à distinguer les personnes à l'intérieur d'un bâtiment de celles qui se trouvent à l'extérieur (cf Figure 17).

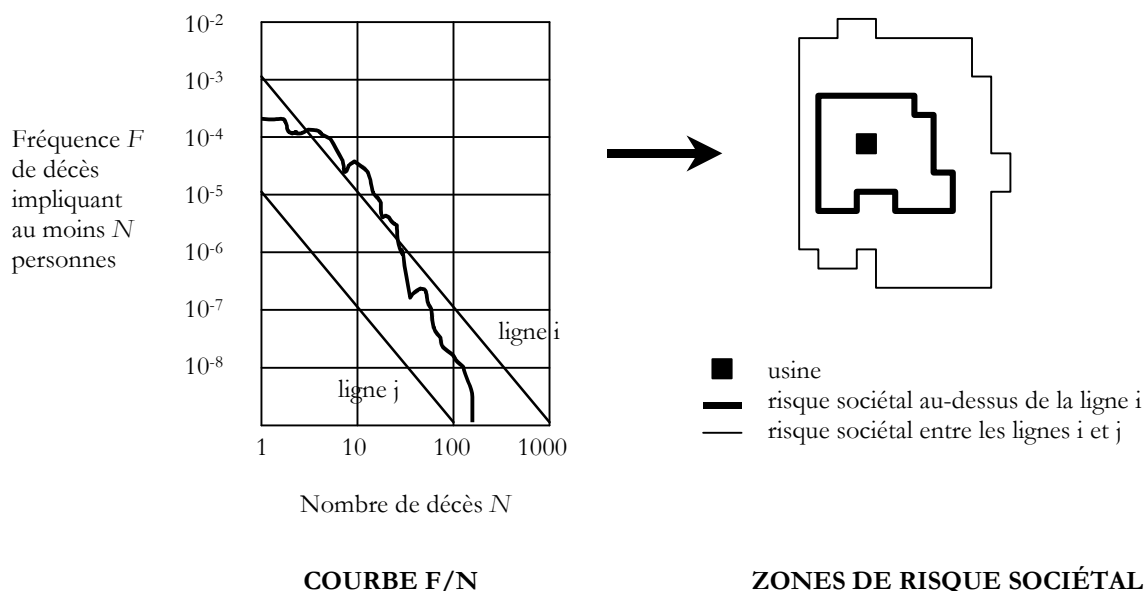


Figure 17 : courbe F/N de Farmer et zones de risque sociétal (d'après [105] in [8])

L'évaluation des risques sur la base des critères d'acceptabilité

Une activité dangereuse est considérée comme acceptable dès lors que les risques individuel et sociétal associés ne dépassent pas des seuils prédéfinis comme le risque maximum tolérable (cf Tableau 15).

- “Le critère de risque individuel traduit la volonté de ne pas exposer un individu quel qu’il soit à un risque trop important.” En ce sens, la *Comité consultatif pour les risques majeurs* aux Pays-Bas a fixé le seuil d’acceptabilité de sorte que la probabilité moyenne de décès d’un individu n’augmente pas de plus de 1% à cause de l’activité considérée.
- “Le critère de risque sociétal vise à protéger les groupes de personnes (la société), en particulier contre l’occurrence d’accidents de grande ampleur.” Ce critère complète le critère de risque individuel en ce sens qu’un accident peut avoir un impact faible en tout point (risque individuel acceptable) mais se révéler majeur s’il se produit dans une zone à forte densité de population (risque sociétal intolérable).

Par ailleurs, un accident de grande ampleur apparaît plus lourd de conséquences pour la société (politiquement, économiquement et socialement) que la somme de plusieurs accidents à nombre total de victimes égal. Cela explique que le seuil d'acceptabilité est plus sévère pour des accidents impliquant un nombre de victimes important (le plus souvent, il est en $1/N^2$).

Notons enfin que le modèle incluait initialement de considérer un seuil de risque négligeable en-deçà duquel il n'apparaît pas utile de réduire le risque.

Entre les deux seuils, il incombe à l'industriel de mettre en œuvre les procédures d'amélioration de son installation.

Le concept de risque négligeable a par la suite été abandonné (1993) en même temps que le VROM (Ministère du Logement, de l'Aménagement et de l'Environnement) assouplissait les seuils d'acceptabilité de risque sociétal si l'exploitation à risque pouvait le justifier.

Evolution	Risque individuel	Risque sociétal
Système à l'origine	Niveau maximum autorisé : <ul style="list-style-type: none"> • 10^{-5} pour les installations existantes • 10^{-6} pour les nouvelles installations • niveau de risque négligeable : 10^{-8} 	Niveau maximum autorisé : <ul style="list-style-type: none"> • $10^{-1}/N^2$ pour les installations existantes • $10^{-3}/N^2$ pour les nouvelles installations • niveau de risque négligeable : $10^{-5}/N^2$
Système actuel	Niveau maximum autorisé : <ul style="list-style-type: none"> • 10^{-5} pour les installations existantes • 10^{-6} pour les nouvelles installations Application du principe ALARA ("aussi bas que raisonnablement réalisable") en dessous de ces seuils.	Niveau maximum autorisé : <ul style="list-style-type: none"> • $10^{-3}/N^2$ pour les installations nouvelles et existantes, mais les autorités chargées de donner l'autorisation peuvent accepter des valeurs plus fortes

Tableau 15 : critère d'acceptabilité du risque (source : [8])

Les mesures de réduction des risques

Les grands principes concernant la réduction des risques est la même en France qu'aux Pays-Bas : les actions entreprises consistent d'abord à **diminuer le risque à la source** (notamment par le zonage et l'instauration de distances de sécurité), puis, si le critère d'acceptabilité n'est pas satisfait, d'**agir sur les impacts** en règlementant l'usage des sols.

A ce titre, le **niveau de risque individuel** permet de juger de l'impact des mesures à la source et de règlementer les constructions (localisation géographique *relative*) tandis que le **niveau de risque sociétal** permet de comparer des localisations alternatives lorsqu'il s'agit d'implanter une nouvelle installation (localisation géographique *absolue*).

Les méthodes de zonage relatif aux critères de risques individuel et sociétal font l'objet de **plusieurs critiques** :

- si leur utilisation s'avère efficace de façon relative pour comparer des mesures de réduction des risques, elles posent des problèmes de façon absolue et normative ;
- la maîtrise conjointe des enjeux grâce aux critères de risques individuel et sociétal n'apparaît pas transparente (par exemple, un projet de construction de logements peut voir le jour sur un site dangereux si le risque individuel reste acceptable, mais condamner définitivement la réalisation ultérieure d'autres aménagements – même situés plus loin de la source de risque – en raison du critère de risque sociétal) ;
- le critère de risque sociétal s'avère souvent contraignant, notamment pour les infrastructures de transport, quand bien même son efficacité n'est pas remise en cause (le krasch du 4 octobre 1992 dans la banlieue d'Amsterdam s'est produit au-delà des périmètres à risque...) – de ce fait, les valeurs de risque sociétal prennent aujourd'hui une valeur indicative ;
- la synthèse du niveau de risque à un indicateur (qui plus est à une puissance négative de 10 pour exprimer un nombre de morts !) est réductrice, sinon difficile à appréhender.

Cependant, la réflexion néerlandaise a contribué la mise en place d'un cadre pour **l'étude systématique des sources de risque technologique**, beaucoup plus avancé qu'en France. La méthode a notamment conduit à identifier au mieux la chaîne des risques et à réduire – voire éliminer – quantité de risques jusque-là non identifiés !

Les enjeux et les dommages

Une violente tempête représente un danger en ce sens qu'elle menace l'existence de vies humaines et de richesses sur un territoire. En l'occurrence, un phénomène se produisant dans une zone désertique suscitera tout au mieux l'indifférence générale s'il n'est pas passé inaperçu. De fait, un danger constitue un risque si le territoire menacé est effectivement peuplé ou convoité par l'homme.

Les entités présentes au sol et susceptibles d'être touchées par la catastrophe constituent les enjeux. Ceux-ci sont de natures très variées : personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, environnement, etc. Ainsi, la caractérisation du phénomène (aléa) et du territoire menacé (enjeux répartis au sol et décrits par leur vulnérabilité) définissent de manière conjointe le risque.

La présence d'enjeux particulièrement sensibles motive les actions de prévention par une analyse préalable de leur répartition (exposition à l'aléa), leur propension à être endommagés (vulnérabilité) et leur endommagement éventuel (dommages potentiels).

La réalisation de la catastrophe détruit tout ou partie de ces enjeux, pour lesquels un bilan des dommages est alors dressé. Les notions d'enjeux et de dommages relèvent ainsi du même type d'analyse. On parlera plus volontiers d'enjeux – ou de dommages potentiels – dans une situation de risque non réalisé, et de dommages lors de l'établissement des bilans post-catastrophes.

Le lecteur ne s'étonnera donc pas de l'emploi indifférent de l'un ou de l'autre de ces termes dans les lignes qui suivent... En l'occurrence, le terme d'enjeux se réfère à la "valeur" des entités présentes au sol et menacées par un phénomène redouté, tandis que le terme de vulnérabilité décrit usuellement la propension de ces entités à être endommagées lorsque le phénomène survient. Le croisement de ces deux grandeurs permet logiquement de chiffrer les dommages potentiels consécutifs à la catastrophe, dont nous avons vu qu'ils étaient parfois assimilés à la composante vulnérabilité du risque.

Dans ce chapitre, nous décrivons à nouveau les distinctions usuellement effectuées parmi les enjeux et passerons en revue plusieurs méthodes d'évaluation des enjeux (resp. des dommages) dans des situations de risque (resp. post-catastrophes).

Classification des enjeux et des dommages

Nous avons vu dans le chapitre dédié à la vulnérabilité que l'identification des entités exposées au risque conduisait classiquement à constituer 3 groupes :

- les êtres humains,
- l'écosystème, l'environnement,
- les richesses économiques, les infrastructures.

Cependant, une simple identification des entités menacées ou touchées par un phénomène donné et de leurs modes d'endommagement ne peut constituer une évaluation détaillée de la vulnérabilité dans une perspective de réduction de la vulnérabilité ou de prévention à grande échelle.

Par exemple, l'évaluation des dommages potentiels d'une parcelle occupée par une entreprise et soumise à un risque de T.M.D. relève d'un calcul plus élaboré que la multiplication d'un coût unitaire par l'emprise au sol. En l'occurrence, sous certaines hypothèses de modèle clairement posées, l'inventaire des coûts doit intégrer [52] :

- les dommages aux biens mobiliers et immobiliers sous forme d'un coût de remise en état correspondant au coût de la ressource détruite sans application d'un taux d'amortissement (selon une hypothèse du modèle) et les coûts de dépollution des ressources naturelles sur la parcelle,
- les dommages correspondants au montant de la perte d'exploitation éventuelle pendant la durée de remise en état.

En revanche, la méthode d'évaluation évoquée ici prend le parti d'exclure du calcul le coût des interventions des forces publiques. L'hypothèse est justifiée par le fait que cette dépense est à charge de la collectivité et reste très difficile à évaluer. Par ailleurs, on pourrait très bien imaginer d'inclure également dans les dommages les coûts induits par la prise en charge des populations (prévention, éducation au risque, suivi psychologique post-catastrophe, etc.).

Cet exemple souligne la nécessité d'établir des distinctions plus nuancées dans l'analyse des dommages (potentiels), ainsi que nous le présentons dans les lignes qui suivent.

Les distinctions usuelles

La part des dommages tangibles et intangibles

Une première classification des dommages consiste à distinguer les dommages tangibles des dommages intangibles.

Les **dommages tangibles** concernent l'ensemble des dommages directement chiffrables : il s'agit classiquement des dégâts matériels sur des biens et activités (publics ou privés) dont la valeur est connue ou facilement évaluable par expertise.

A l'opposé, on trouve parmi les **dommages intangibles** [102] :

- les pertes en vies humaines,
- tous les problèmes de santé à court et moyen terme, l'angoisse face à l'événement, le stress et ses conséquences, l'inquiétude persistante face au risque encouru,
- la rupture de mode de vie et du tissu social ainsi que l'isolement,
- la perte de biens privés irremplaçables,
- les dommages au patrimoine historique et culturel.

La part des dommages directs et indirects

L'enchaînement entre l'effet (le phénomène) et ses conséquences (l'impact) établit un autre niveau de comparaison parmi les dommages potentiels en distinguant dommages directs et dommages indirects.

Les **dommages directs** concernent les dégâts et perturbations sur les biens meubles et immeubles, les stocks, les infrastructures, routes, ouvrages et réseaux divers, imputables directement à l'action du phénomène. Il n'est pas déraisonnable d'y adjoindre les atteintes aux ressources naturelles dont les coûts de dépollution sont souvent bien connus par retour d'expérience [52].

Les **dommages indirects** correspondent aux dégâts et perturbations engendrées par le phénomène par l'intermédiaire des dommages directs. Il s'agit de toutes les difficultés de fonctionnement, d'échanges et de communications induites : arrêts d'activités et de services entraînant des pertes d'exploitation, ruptures de circuits économiques, perturbations des réseaux, etc. On distingue en outre les impacts indirects "primaires" survenant dans la zone où le phénomène s'est produit des impacts indirects "secondaires" se manifestant à l'extérieur de la même zone [9].

La notion de dommages directs / indirects peut se concevoir dans une logique d'enchaînement d'événements, conformément à la Figure 18.

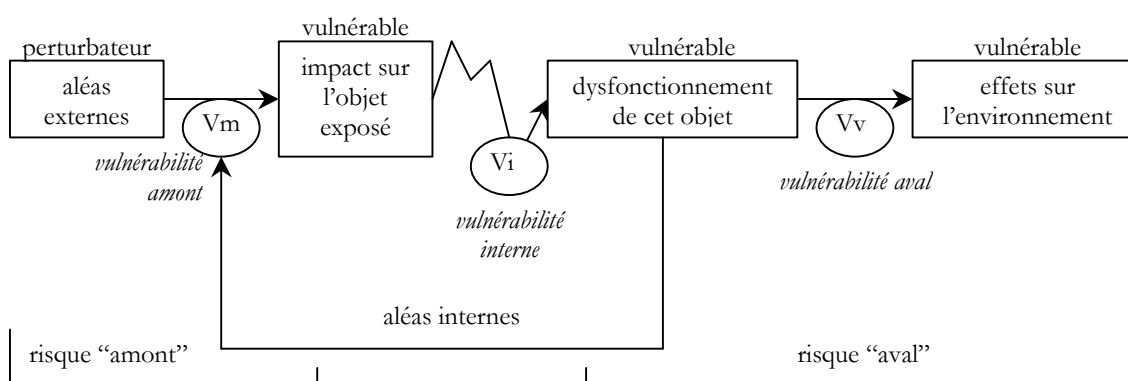


Figure 18 : maillon élémentaire de la chaîne des risques (source : [9])

Sur ce schéma, la catastrophe (aléa perturbateur) a un impact (dommage direct) sur l'objet exposé en fonction de sa valeur et de sa propension à être endommagé (vulnérabilité amont). Cet objet endommagé

subit des dysfonctionnements (vulnérabilité interne) provoquant des effets en chaîne (vulnérabilité aval) sur d'autres objets de l'environnement (dommages indirects).

Remarques à propos de la Figure 18

- Cette chaîne des risques telle qu'elle était présentée initialement [9] considérait également l'enchaînement de risques différents par effet "boule de neige", comme par exemple le risque de pollution induit par la destruction d'une usine par un séisme. Cet aspect nous semble pourtant superflu : il s'agit en effet dans notre exemple de deux risques bien distincts où les dommages directs du séisme sur l'usine constituent un facteur déclenchant du risque de pollution. De ce fait, ce mode d'endommagement de l'usine fait partie intégrante des aléas du risque de pollution et n'empêche pas de distinguer phénomènes et impacts associés à chacune des deux catastrophes en chaîne.
- Le schéma met en concurrence les risques amont (~direct) et aval (~indirect). Cette confrontation souligne la possibilité pour les phénomènes et impacts mis en jeu :
 - de procéder de mécanismes différents,
 - d'être décalés dans le temps et soumis à des effets de seuil,
 - d'être décalés dans l'espace.
- Plus généralement, ce type d'approche met en relief l'aspect "fractal" du risque selon le niveau de considération des unités soumises au risque. L'analyse de vulnérabilité peut en ce sens être macroscopique (par exemple à l'échelle d'un réseau d'assainissement) ou bien microscopique (dans le même registre, à l'échelle d'une vanne, ou d'un tuyau). Nous reviendrons sur ces problèmes d'échelle dans le cours de cette partie.

La part des dommages et autres nuisances

On peut enfin effectuer une dernière distinction parmi les impacts d'un phénomène et nuancer la notion de "dommages" en introduisant celle de "nuisances" [72].

Les **dommages** regroupent l'ensemble des dégâts de toutes sortes constatés à plus ou moins court terme à la suite d'un accident réalisé.

Les **nuisances** concernent non seulement de tels dommages, mais également l'ensemble des modifications de fonctionnement des populations et des sols dues à la seule existence de l'éventualité d'un phénomène dangereux (indépendamment donc de l'action effective de ce phénomène).

Citons pour exemple l'impact psychologique de la menace d'une crue sur les populations riveraines, la restriction d'usage des sols due aux réglementations, les mesures de prévention et de protection économiquement neutres (c'est-à-dire sans valeur ajoutée), etc.

Synthèse

Il est bien évident qu'une évaluation exhaustive de la vulnérabilité intégrant dommages et nuisances directs, indirects, tangibles et intangibles est irréaliste. Selon le risque étudié, le type d'enjeux retenus, les méthodes et justifications de calcul ou tout simplement les données disponibles, une analyse de vulnérabilité se cantonne à tel(s) type(s) d'impacts en formulant précisément les hypothèses adoptées. Il va sans dire que les dommages les plus faciles à évaluer sont les dommages tangibles directs pour lesquels on peut facilement avancer une valeur économique. A l'opposé, les dommages intangibles (dégradations de paysage, dommages irréparables au patrimoine historique, ...) et les dommages indirects (perturbations routières, ruptures d'activité...) sont difficiles à identifier précisément, à quantifier et à comparer à l'ensemble des dégâts.

L'inventaire des dommages

Organiser un inventaire des dommages et nuisances causés à un territoire à la suite d'une catastrophe est un véritable défi compte-tenu de la variété des entités touchées (vies humaines, valeurs environnementales, richesses économiques, patrimoine, etc.), des modes d'endommagements (matériels, fonctionnels, psychologiques, etc.) et enfin, de la manière de les quantifier.

Par ailleurs, nous avons vu qu'il existait plusieurs manières d'effectuer des distinctions parmi les dommages :

- **dommages tangibles** ayant un équivalent physique et monétaire / **dommages intangibles** que l'on ne sait ni mesurer, ni intégrer dans un calcul économique ;
- **dommages directs** dus à l'action "physique" du phénomène / **dommages indirects** liés aux perturbations conséquentes ;
- plus généralement, distinction entre **dommages** et autres **nuisances**, ces dernières incluant en plus l'ensemble des modifications de fonctionnement sur le territoire dues à la seule éventualité d'un phénomène dangereux et non à son action effective.

Finalement, le choix d'une typologie des dommages est lié à l'usage que l'on souhaite en faire :

- par exemple, une démarche préventive auprès des populations ou une démarche assurantielle conduira à identifier les dommages en fonction des entités menacées ou touchées par un phénomène ;
- dans un autre registre, une démarche économique, politique ou organisationnelle tentera plutôt de faire la part des dommages tangibles et intangibles ainsi que des dommages directs et indirects.

La nécessité d'une typologie des dommages

L'exemple du risque de T.M.D. et de la variété des dommages associées (dommages aux biens, manques à gagner, coûts d'intervention, coûts de réparation, prise en charge des populations, etc.) montre combien il est nécessaire de :

- **faire la part des dommages tangibles et des dommages intangibles** – les premiers étant ceux que l'on sait chiffrer et que l'on "isolera" donc en posant les hypothèses adéquates,
- anticiper l'étendue des effets du phénomène dans le temps (effets "boule de neige", effets retardés, durée de reconstruction, etc.) et donc **distinguer les effets directs des effets indirects** – les seconds restant délicats à évaluer mais, de par leur importance, leur prise en compte sera souhaitable sous certaines hypothèses à formuler également.

La liste suivante passe en revue les dommages sur les différents enjeux en introduisant quelques indices pour distinguer dommages tangibles / intangibles et dommages directs / indirects [59] :

- **les dommages causés aux ménages :**
 - *tangibles* : biens immobiliers, biens mobiliers remplaçables, réhabilitation des habitations, absence au travail, impact des dysfonctionnements de réseaux,
 - *intangibles* : biens mobiliers à valeur affective, dommages physiques et psychologiques à plus ou moins long terme ;
- **les dommages causés aux activités privées :** ils sont *tangibles* : biens immobiliers, biens mobiliers remplaçables, réhabilitation des locaux, pertes d'exploitation et problèmes financiers – à noter dans cette évaluation l'importance des pertes conditionnées par la "fragilité" économique de l'entreprise, sa dépendance vis-à-vis des autres entreprises et des clients et ses capacités de transfert de production ;
- **les dommages causés aux biens et services publics :**
 - *tangibles directs* : biens immobiliers, biens mobiliers, espaces publics, réhabilitation des bâtiments et des espaces, baisse d'activité,
 - *tangibles indirects* : dysfonctionnement d'exploitation (d'un musée, d'un spectacle, etc.),
 - *intangibles* : déception du public, pertes du patrimoine public mais aussi privé, etc. ;
- **les dommages causés aux réseaux divers :** il peut s'agir de dommages *directs* (endommagement du réseau) ou *indirects* (perturbation du fonctionnement du réseau) : globalement, les dommages se traduisent par des coûts d'exploitation accrus en temps et en kilomètres ;
- **les dommages causés à l'environnement :** parmi eux, la pollution des sols est un dommage *tangible* pour lequel la quantification économique est facilitée par l'application de coûts de dépollution par unité de surface et type de pollution ; en revanche, la définition de la valeur économique de l'environnement (regroupant par exemple la dégradation du paysage, les atteintes aux ressources à disposition des générations futures) demeure encore floue : pour le moment, cette valeur est rangée dans la catégorie des dommages *intangibles*.

Quels dommages prendre en compte dans l'étude de risque ?

La tentation est grande de se cantonner aux **dommages tangibles**, de préférence quantifiables économiquement. Ce type de dommages constitue bien souvent les premières bases de l'étude de la vulnérabilité, car ils sont "facilement" chiffrables et permettent une première approche du risque sous ses aspects préventif (estimation anticipative des dommages) et organisationnel (gestion de crise et gestion post-crise). En pratique, on retrouve parmi eux [66] :

- les dommages structurels,
- les perturbations fonctionnelles sur les activités économiques,
- les perturbations fonctionnelles sur le logement,
- les perturbations fonctionnelles sur le domaine transport-communication-distribution,
- les préjudices corporels.

Cependant, la distinction détaillée des **coûts directs et indirects** constitue un passage obligé dans la formulation des dommages pris en compte dans le calcul de vulnérabilité (cf Tableau 16). Si les évaluations de vulnérabilité intègrent systématiquement les coûts directs, cela est loin d'être le cas des coûts indirects compte-tenu des difficultés de modélisation et des données disponibles. La démarche d'analyse de vulnérabilité doit préciser en ce sens les hypothèses retenues pour la prise en compte ou non des différents coûts indirects.

Coûts directs	évacuation, ravitaillement	mesures d'urgence
	secours-recherches	
	surveillance-protection des biens endommagés	
	réhabilitation provisoire	
	réhabilitation définitive	mesures définitives
Coûts indirects de 1 ^{er} ordre	ralentissement	pertes d'activité
	déviations provisoires	surcoûts dus au rallongement du trajet
	substitution provisoire par un nouveau moyen	
	relogement provisoire	
	remplacement définitif	
	prise en charge médicale des victimes	
Coûts indirects de 2 nd ordre	relance	relance économique
	transfert	
	prise en charge sociale des victimes	
	indemnités	régimes d'assurance
	prévention-protection	
	abandon définitif	pertes de jouissance
	dévalorisation	

Tableau 16 : coûts directs et indirects dans l'évaluation des dommages (source : [66])

Quelles que soient les hypothèses d'évaluation de la vulnérabilité, le calcul sera toujours limitatif, ne serait-ce que par impossibilité de chiffrer les dommages intangibles ou les coûts indirects sur le long terme. Néanmoins, les retours d'expérience peuvent fournir un ordre de grandeur des dommages intangibles comparativement aux dommages tangibles (dans la mesure où ces deux types de dommages sont ressentis de la même manière).

L'analyse des enjeux et des dommages potentiels...

...dans une démarche de prévention – exemple d'étude du risque d'inondations

L'évaluation des dommages se fait volontiers *a priori* à cause bien entendu des missions de prévention à mettre en œuvre, mais également de la rareté des événements et de la difficulté du recueil des données [101].

Elle concerne ainsi plusieurs scénarios de catastrophes possibles nécessitant :

- de caractériser physiquement l'aléa et donc de justifier le choix d'une modélisation,
- de caractériser les modes d'endommagement et les unités touchées.

Il faut noter cependant qu'un tel calcul souffre invariablement d'une grande incertitude liée à l'hétérogénéité des données, à leur niveau de précision très relatif, à la complexité du processus d'évaluation en relation avec la complexité des unités touchées, au caractère hypothétique des dommages et au manque de contrôles et de validation.

Dans les méthodes d'évaluation économique des dommages, deux grandes constantes reviennent régulièrement à l'appui :

- de la caractérisation physique de l'aléa d'une part : il s'agit de paramétrer les dommages par les caractéristiques physiques du scénario retenu,
- de la caractérisation des modes d'endommagement et des unités touchées d'autre part : il s'agit d'effectuer un découpage typologique et géographique des unités soumises au phénomène considéré.

Le **paramétrage des caractéristiques physiques de l'aléa** peut sembler simpliste étant donné que le phénomène retenu est bien défini *a priori*. Il n'en demeure pas moins que la manifestation d'un aléa donné peut être très variable dans l'espace et dans le temps, telles les crues lentes pour lesquelles hauteur et durée de submersion fluctuent amplement dans la zone inondée. Cela complique d'autant les relations à établir entre les divers paramètres et le degré d'endommagement des entités touchées.

Le **découpage typologique et géographique des unités soumises** à l'aléa relève des difficultés de l'évaluation économique des dommages induite par la quantification conjointe des dommages individuels / collectifs, matériels / non matériels, directs / indirects, etc. Il résulte en particulier d'un compromis à établir entre une démarche d'évaluation intensive de type assurantiel, consistant à considérer les bâtiments touchés les uns après les autres, et une démarche d'évaluation plus grossière par coût moyen, découpant le terrain en 3 ou 4 types d'occupation du sol sur lesquels sont appliqués des coûts moyens par hectare endommagé.

Nous allons illustrer ce type de démarche dans le cadre de la prévention des risques d'inondations.

Le paramétrage des caractéristiques physiques de l'aléa

La prévision des dommages repose sur plusieurs hypothèses et principes de modélisation dont nous avons vu que le premier était la relation entre dommages et paramètres physiques de l'aléa.

De fait, la connaissance des lois des paramètres du phénomène considéré est doublement cruciale : elle intervient directement dans la description mathématique de la composante "aléa" du risque, mais également dans la caractérisation – voire la quantification – de l'endommagement constaté.

La caractérisation des dommages par les paramètres hydrologiques d'une crue

Les paramètres hydrologiques d'une crue sont très nombreux : hauteur d'eau, durée de submersion, vitesse de montée des eaux, vitesse de propagation de l'onde de crue, force vive du courant, volume déversé en un temps donné, etc.

Parmi ceux-là, on distingue les “paramètres de référence” ou “paramètres hydrologiques de nuisance” correspondant aux paramètres expliquant la part la plus importante des dommages sur une unité considérée.

Par expérience, **les deux paramètres hydrologiques de nuisance** essentiels sont **la hauteur d’eau et la durée de submersion** (ou de stagnation) [72]. La hauteur d’eau constitue dans tous les cas un facteur aggravant des dommages. Le Tableau 17 met en relief les préjudices pour lesquels la durée de stagnation joue un rôle particulier.

Nature des préjudices	Hauteur d’eau	Durée de stagnation
Préjudices subis par des personnes privées		
Biens mobiliers	•	
Biens immobiliers	•	
Préjudices causés aux entreprises industrielles et commerciales		
Mesures préventives de sécurité	•	
Dégâts directs	•	
Gênes et dommages d’exploitation	•	•
Préjudices causés aux exploitations agricoles		
Dommmages aux immeubles bâtis	•	
Dommmages au matériel d’exploitation	•	
Dommmage au cheptel	•	
Dommmages aux stocks et aux produits	•	•
Dommmages fonciers	•	
Dommmages culturaux	•	•
Préjudices causés à l’infrastructure et à son usage		
Ouvrages de protection	•	
Adductions, assainissement	•	•
Voirie	•	
Transports et circulation (Fer, Air, Eau)	•	•
Coûts et préjudices divers		
Mesures de sécurité	•	•
Mesures de secours	•	•

Tableau 17 : paramètres hydrologiques de nuisance et préjudices associés (source : [72])

Le paramètre de durée de submersion joue ainsi un rôle important dans le cas d’inondations en milieu urbain comportant des voies de circulation et des entreprises en grand nombre. Les dégâts conséquents de ces milieux se répartissent entre :

- les entraves à la circulation automobile et fluviale,
- les détériorations causées aux biens mobiliers, immobiliers des privés et du public,
- les préjudices causés à l’activité des entreprises,
- la détérioration des infrastructures.

L’examen des préjudices consécutifs à une crue est donc établi à partir des deux principaux paramètres de référence que sont la hauteur d’eau et la durée de submersion. Cependant, l’étape suivante consistant à évaluer effectivement les dommages nécessitera parfois de prendre en compte diverses corrections dues à la saison, à la période d’activité dans l’année, à l’heure de la journée, etc. et entraînant des modifications sur le comportement des unités soumises. Ces considérations se trouvent en fait à la frontière de la paramétrisation de l’aléa et de la caractérisation des effets induits.

Exemple de quantification des dommages par les paramètres explicatifs d'une crue

La méthode présentée ici [102] se propose d'évaluer directement le **coefficient d'endommagement E** des dommages mobiliers et immobiliers consécutifs à une crue **en fonction de la hauteur H de submersion**, et selon 3 sous-classes identifiées par la rapidité de la crue (*Rapide* ou *Lente*), la présence d'un sous-sol (*Avec* ou *Sans*) et le déplacement de mobilier (*Oui* ou *Non*) – uniquement pour l'estimation des dommages mobiliers.

L'endommagement a été calculé sous trois formes, à savoir :

- E_b : endommagement brut au prorata de la valeur immobilière totale,
- E_e : endommagement par étage au prorata de la valeur immobilière moyenne d'un niveau,
- E_s : endommagement intégrant la surface aménagée (valeur immobilière moyenne d'un niveau pondérée par la proportion de surface aménagée).

Chacun des trois indicateurs de l'endommagement ci-dessus a alors été confronté à la hauteur de submersion H afin d'établir une relation du type $E=f(H)$ où la seule hypothèse faite sur la fonction f est sa monotonie.

Une simple observation des valeurs relevées pour les 3 indicateurs met en relief la grande variabilité de E_b et conduit à préférer l'indicateur E_e , plus satisfaisant étant donné le problème et le choix de l'hypothèse d'homogénéité des valeurs mobilières et immobilières parmi tous les étages. Le comportement de l'indicateur E_s est à rapprocher de celui d' E_b , et de fait, sa grande variabilité ne permet pas de se raccrocher facilement à des estimations en valeur absolue. La méthode propose en définitive de travailler avec l'indicateur E_e d'endommagement par étage.

Une mesure simple de l'influence du paramètre H sur l'endommagement E peut être réalisée par ajustement linéaire. À l'issue de celui-ci, on remarque que :

- la nullité de l'ordonnée à l'origine est certifiée à 80% pour les valeurs immobilières,
- les dommages immobiliers "débutent" avant que l'eau n'atteigne le plancher pour des maisons avec sous-sol,
- les dommages immobiliers sont plus forts pour les crues lentes que pour les crues rapides,
- la fiabilité de l'ajustement est mauvais pour les dommages mobiliers (ceux-ci concernent d'ailleurs en partie le mobilier des sous-sols),
- les dommages mobiliers sont plus forts pour les crues rapides que pour les crues lentes : en cas de crues lentes, les occupants ont largement le temps de réagir.

Ainsi, l'interprétation d'une méthode de quantification des dommages à partir des paramètres de l'aléa permet de dégager un ensemble de règles sur le comportement des unités soumises. Une typologie plus fine des crues étudiées a mis en évidence – à partir de la comparaison des dommages sur la base des fonctions d'endommagement – combien la vitesse de montée des eaux apparaissait plus déterminante sur le comportement des gens (réponses, efficacité) que l'alerte.

Cette étude a également mis en relief la pertinence du facteur durée pour la quantification des dommages alors que ce paramètre est peu mis en avant dans la bibliographie (nous avons vu plus haut que ce paramètre jouait un rôle pour un nombre restreint de préjudices – cf Tableau 17). Cela se justifie en partie par le fait que la durée de submersion est beaucoup moins hétérogène en Grande-Bretagne qu'en France, tandis qu'aux États-Unis, Canada et Australie, la forte proportion de structures immobilières en bois modifie et aggrave la vulnérabilité de l'immobilier, et donne ainsi plus d'importance au paramètre de hauteur d'eau H .

Le découpage typologique et géographique des unités soumises à l'aléa

L'intérêt d'un modèle confrontant les paramètres de l'aléa à un ensemble d'entités menacées ordonnées selon un ordre logique réside dans la simplification de la description des mécanismes d'endommagement sur chacun des types de parcelle [101].

La classification des unités soumises à un phénomène est importante méthodologiquement pour évaluer globalement les pertes potentielles. La quantification des dommages consiste alors à effectuer une discrimination des unités en fonction de leur comportement vis-à-vis du phénomène et des valeurs qu'elles représentent, donc par inférence en fonction de leurs caractéristiques (découpage typologique) et de leur occupation du sol (découpage géographique).

La réalisation d'un zonage homogène en type, nature, structure de bâti ou activités se justifie par la nécessité de disposer d'un découpage de la région menacée en zones sur chacune desquelles sont bien définis les différents enjeux [24]. Ceux-ci recensent avec un niveau de précision et de quantification variable les entités soumises à l'aléa (personnes, biens, activités, équipements, etc.).

Par exemple, l'étude de la vulnérabilité des constructions (c'est-à-dire de leur propension à être endommagés) conduit à distinguer les constructions pavillonnaires récentes, les constructions d'immeubles récents, les constructions plus anciennes, les constructions industrielles, etc. En termes d'activités, il peut être judicieux de séparer zones d'habitations, zones artisanales, commerciales ou de services, zones mixtes d'habitation et de service et zones industrielles.

Une étude fine des dommages à l'habitat à la suite d'inondations ne peut s'affranchir d'enquêtes sur les coûts réels subis dans le passé [102]. Des profils d'habitat en fonction de leurs modes d'endommagement sont alors obtenus par des méthodes d'analyse de données. La classification des habitats demeure cependant délicate car elle ne peut s'expliquer uniquement par un jeu de paramètres : outre des coûts de construction et d'aménagement interviennent aussi des facteurs d'urbanisme et du cadre de vie, difficiles à modéliser. À défaut de caractériser de manière exhaustive les habitats en fonction de leur vulnérabilité aux inondations, nous retiendrons que les facteurs couramment retenus pour cette classification sont le nombre de logements, le nombre d'activités, le nombre de niveaux observés, la surface, la qualité des matériaux et même l'âge des occupants dès lors que l'on prend en compte les premières mesures entreprises par les populations à la suite d'une alerte.

En termes de **dommages potentiels**, la seule connaissance de l'occupation des sols permet d'aboutir à la classification des unités menacées par un phénomène donné. Grâce à une analyse détaillée de l'occupation du sol, l'échelle d'étude peut être réduite, des méthodes de généralisation peuvent être effectuées sur les zones étudiées ; en parallèle, les méthodes de quantification de la vulnérabilité peuvent être simplifiées afin d'aboutir, par exemple, à des niveaux de vulnérabilité discrets.

Exemples [52] :

- La vulnérabilité des sous-sols à une pollution en surface peut se déduire de l'occupation des sols par leur degré de protection et conduire à une classification en trois niveaux :
 - peu vulnérable ↔ ressources protégées,
 - moyennement vulnérable ↔ ressources protégées de manière très relative,
 - très vulnérable ↔ ressources non protégées.
- L'aversion sociale au risque est très difficile à estimer et nécessiterait de réaliser des enquêtes auprès des populations. À défaut de disposer de tels résultats, l'aversion au risque de pollution peut être par exemple quantifiée par un coefficient mesurant conjointement la rareté ressentie de la ressource détruite, le potentiel de déstabilisation sociale et économique du patrimoine détruit et le nombre et la nature des personnes potentiellement atteintes : ces informations peuvent directement être obtenues à partir des données d'occupation du sol.

Ce type d'approche des unités soumises par recoupement et généralisation d'information géographique n'exclut pas une **analyse fine au cas par cas des parcelles de la zone d'étude**, dans la mesure où la **base de données géographique** le permet. Bien au contraire, la richesse de telles données autorise différentes représentations selon les usages souhaités – en l'occurrence ici selon les modèles de calcul d'endommagement. Une base de données géographique suffisamment renseignée pourra ainsi fournir une représentation à l'échelle des modes d'occupation du sol, mais également une représentation (déduite en partie de la précédente) des éléments physiques susceptibles d'être endommagés [66] :

Exemple de découpage géographique de la zone menacée par éléments physiques :

- bâtis,
- réseaux de transport-communications-distribution,
- surfaces naturelles (foncier, cours d'eau, plans d'eau),
- biens mobiliers et véhicules,
- stocks et récoltes,
- occupations végétales,
- occupations animales,
- individus.

Exemple de découpage géographique de la zone menacée par mode d'occupation et d'utilisation des sols :

- zones urbaines – immeubles de 4 étages récents,
- zones urbaines – immeubles de plus de 4 étages récents,
- zones urbaines – immeubles de 4 à 6 étages antérieurs à 1936,
- centre ville (activités commerciales et de service),
- zone industrielle,
- zone artisanale et commerciale,
- lotissement pavillonnaire,
- rue principale d'un village,
- quartier périphérique d'un village,
- hameau isolé,
- établissement spécifique,
- zone agricole.

...dans une perspective décisionnelle : le Coût Moyen Annuel (C.M.A.) – application au risque d'inondation

Comme son nom l'indique, le C.M.A. est une grandeur représentative des coûts moyens annuels imputables à l'action d'un phénomène redouté.

Objectifs du C.M.A.

L'indicateur C.M.A. est utilisé pour évaluer l'impact économique de la mise en œuvre de mesures ou d'ouvrages de protection contre les crues [72].

L'appréciation du bénéfice économique repose sur la comparaison de deux coûts moyens annuels, l'un estimé dans la perspective de la réalisation d'interventions pour réduire le risque, l'autre estimé dans le cadre où aucune mesure n'est entreprise.

Le calcul effectif des coûts se fait sur une même échelle de temps (jusqu'à l'"horizon de référence") pouvant aller jusqu'à l'infini. La différence est comparée au coût de réalisation, de maintenance et de fonctionnement des mesures et ouvrages envisagés.

Les scénarios de référence

Dans le cas idéal, le C.M.A. correspond à l'espérance mathématique de la fonction des dommages pondérée par la probabilité d'occurrence du phénomène pour toutes les intensités envisagées.

Dans la pratique, la connaissance exacte d'une telle fonction n'a pas de sens. Il s'agit en réalité pour l'expert d'approcher cette fonction à partir des données empiriques mettant en relation le montant des dommages déplorés avec la probabilité d'occurrence estimée des phénomènes enregistrés. La difficulté de l'opération est accrue par la rareté de telles données : d'une part, l'archivage de l'ensemble des informations économiques relatives aux catastrophes est relativement récent (quelques décennies), d'autre part, les phénomènes en question se produisent avec une fréquence faible, et même d'autant plus faible que leurs conséquences sont lourdes.

En dépit de ces obstacles, l'estimation de la fonction des dommages se fonde sur un ensemble de scénarios de référence, autrement dit de catastrophes "simulées" ou réalisées et dont on connaît précisément la probabilité d'occurrence. Ces scénarios ont pour but l'étalonnage économique des fonctions de dommages. Elles doivent être connues précisément pour chaque type d'unité menacée au sol.

Nous nous plaçons désormais dans le cadre des risques d'inondations, particulièrement adapté au calcul de C.M.A. Dans ce contexte, le phénomène redouté est la crue, la probabilité d'occurrence du phénomène s'exprime en période de retour et ses paramètres physiques principaux sont la hauteur et la durée de submersion.

Les crues de référence sont définies par la fréquence d'apparition du ou des paramètre(s) hydrologique(s) explicatif(s) des nuisances causées. Classiquement, **trois crues de référence** sont déterminées en fonction du degré de nuisances :

- la crue correspondant au début des premières nuisances,
- la crue correspondant à la présence de nuisances qualifiées d'«importantes»,
- la crue entraînant l'apparition de nuisances exceptionnelles ou catastrophiques.

Les crues de référence ainsi définies peuvent s'exprimer en fonction :

- d'un seul paramètre, sous la forme d'une courbe log-durée – débit (extrapolée par la méthode Gradex d'ajustement sur les fortes pluies),
- d'un paramètre, avec application de corrections dues aux effets saisonniers en particulier,
- de deux paramètres, sous la forme d'une courbe de type Qd^F (débit-durée-fréquence).

Les problèmes rencontrés dans l'étalonnage économique de la fonction des dommages pour les crues de référence

La fonction reliant les dommages à la période de retour des crues est approchée à partir des montant des dommages estimés pour les différentes crues de référence. La démarche consiste donc maintenant à évaluer les dommages potentiels pour chacun des scénarios retenus. Comme nous avons pu le voir tout au long de cet exposé, une telle évaluation économique se heurte à de nombreux problèmes auxquels des hypothèses méthodologiques apportent des éléments de solution.

Ces difficultés concernent [72] :

- **La grande variabilité spatiale et temporelle des biens exposés**, en l'occurrence :
 - l'évolution des nuisances due à la modernisation des appareils et des équipements,
 - la quantité et l'hétérogénéité des richesses exposées à l'échelle du pays,
 - la modification de la valeur des biens par érosion monétaire, déploiement des activités, règlementations d'urbanisme, spéculation foncière, etc.

Il est possible de prendre en compte ces différents biais grâce à des coefficients d'actualisation, des indicateurs régionaux de richesse et des coefficients de conversion monétaire par rapport à une année de référence.

- **Le problème de l'évaluation même des dommages potentiels.**

Doit-on en effet exprimer la vulnérabilité en fonction du coût de remplacement de la ressource détruite ? Comment faire la part des valeurs initiale et réelle des biens ? Une solution consiste à introduire les notions d'usage (fongibilité), de vétusté (amortissement technique) et de changements technologiques ou d'habitudes (obsolescence) en utilisant un coefficient d'amortissement, différencié selon la durée de vie supposée des biens (50 à 100 ans pour un bâtiment, 5 à 10 ans pour divers matériels électriques, etc.).

- **La prise en compte d'effets indirects** comme par exemple :
 - l'accroissement momentané de la consommation suite à la catastrophe et les reports d'activité sur les régions voisines,
 - inversement, l'exonération d'impôt foncier sur les particuliers et les avantages fiscaux aux entreprises sinistrées.

Certains modèles éludent le problème en considérant que les effets indirects positifs et négatifs se compensent.

L'évaluation effective du C.M.A.

A supposer que les informations disponibles ont permis de définir avec précision les caractéristiques des crues de référence ainsi que les dommages et nuisances potentiels qui leur sont attachés, l'expert dispose –

après extrapolation – de la fonction de dommages, c'est-à-dire de la courbe donnant le coût brut C des dommages engendrés par la crue en fonction de sa fréquence N ou de sa période de retour T .

Le Coût Moyen Annuel ou la nuisance moyenne annuelle s'écrit alors naturellement comme l'intégrale de la Formule 3, où N_0 représente la fréquence de la crue maximum non dommageable.

$$C_m = \int_0^{N_0} C(N) \cdot dN$$

Formule 3 : expression du coût moyen annuel (source : [72])

Le C.M.A. correspond ainsi à la zone grisée sur la courbe donnée sur la Figure 19.

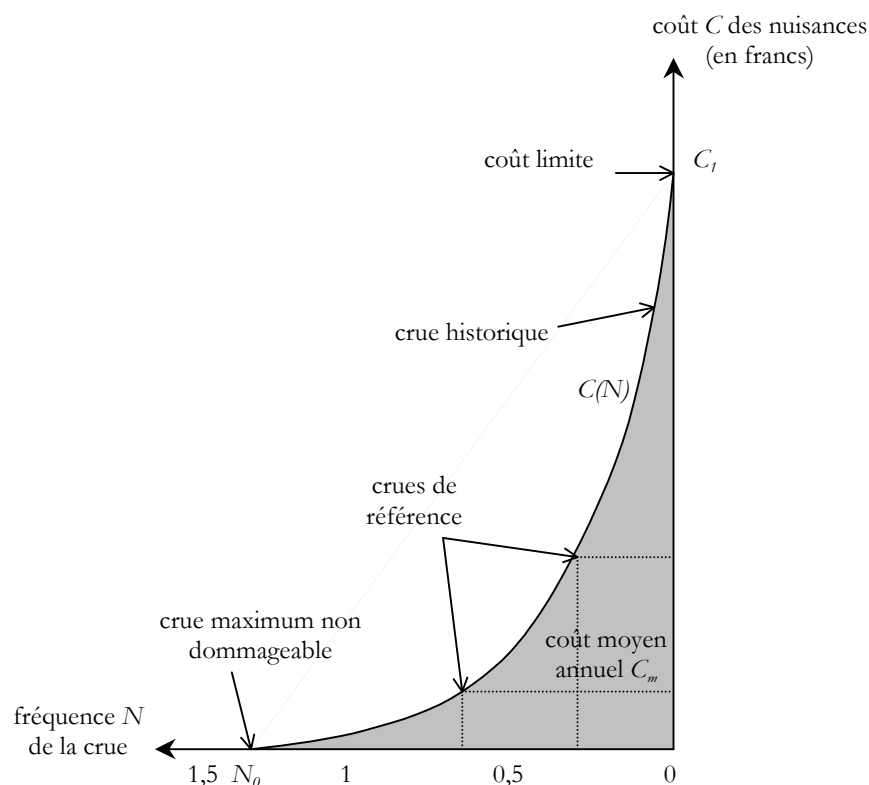


Figure 19 : courbe de répartition fréquentielle des nuisances $C(N)$ (source : [72])

L'information sur les incertitudes de cette estimation dues au caractère aléatoire des crues est fournie en partie par l'écart-type s de la Formule 4 :

$$s = \sqrt{\int_0^{N_0} C^2(N) \cdot dN}$$

Formule 4 : écart-type sur l'estimation du Coût Moyen Annuel (source : [72])

et pouvant être approximé par l'expression de la Formule 5 :

$$s = K_s \cdot \frac{C_m}{\sqrt{N_0}}$$

Formule 5 : approximation de l'écart-type sur l'estimation du Coût Moyen Annuel (source : [72])

où K_s est un coefficient dépendant de la forme de la courbe, résumée par les caractéristiques de la crue de fréquence maximum non dommageable (C_0, N_0) et de la crue de dommage maximum (C_t, N_t).

L'exemple que nous présentons maintenant est extrait d'une thèse consacrée à **l'évaluation des dommages dus aux inondations** [102]. Nous en donnons ici les grandes lignes consacrées au C.M.A., en soulignant tout particulièrement l'importance du choix des hypothèses économiques utilisées tout au long de la démarche.

Une première hypothèse concerne le choix des domaines pris en compte dans l'évaluation des coûts. Il s'agit ici de dommages exclusivement tangibles, à savoir :

- les dommages matériels de l'habitat (fonction de la hauteur d'eau et de la durée de submersion),
- les dommages directs et pertes d'exploitation sur les activités non agricoles,
- les pertes de récolte corrigées par la rupture de frais d'exploitation ou de culture de remplacement pour les activités agricoles.

Par inférence ne sont pas pris en compte les dommages indirects aux ménages, l'éventuelle stérilisation (ou fertilisation) de terres agricoles, les dommages aux activités autres qu'agricoles, les dommages fonciers, les dommages aux équipements publics, les coûts de secours, les dommages intangibles, etc.

Dans cette méthode, les coûts sont estimés pour chaque secteur d'un découpage spatial prédéfini, par scénario et pondérés par la probabilité de survenance du scénario en question. La quantité évaluée n'est donc pas le coût brut des dommages engendrés par la crue mais le coût moyen annuel de cette même crue, obtenu en multipliant le coût brut par la probabilité (ou fréquence) annuelle de la crue.

Les relations successives "période de retour / cote" et "cote / coût" permettent alors d'estimer la fonction de dommages moyens "coût moyen / période de retour" et, à terme, le Coût Moyen Annuel.

La Figure 20 résume la confrontation de ces deux relations au sein d'un modèle d'évaluation économique :

- à gauche : ajustement de la tranche de secteur comprise entre les cotes i et j conformément à la crue considérée, et caractérisation de la surface δS_j menacée ;
- à droite : coût local par occupation du sol U_{jk} par mise en relation de la hauteur de plancher dm_k menacée par la cote H_i et le coût élémentaire f_k .

Le coût moyen pour chaque élément de surface soumis δS_j – découpé selon ses différents modes d'occupation du sol U_{jk} – est alors évalué en fonction des différents paramètres de l'endommagement.

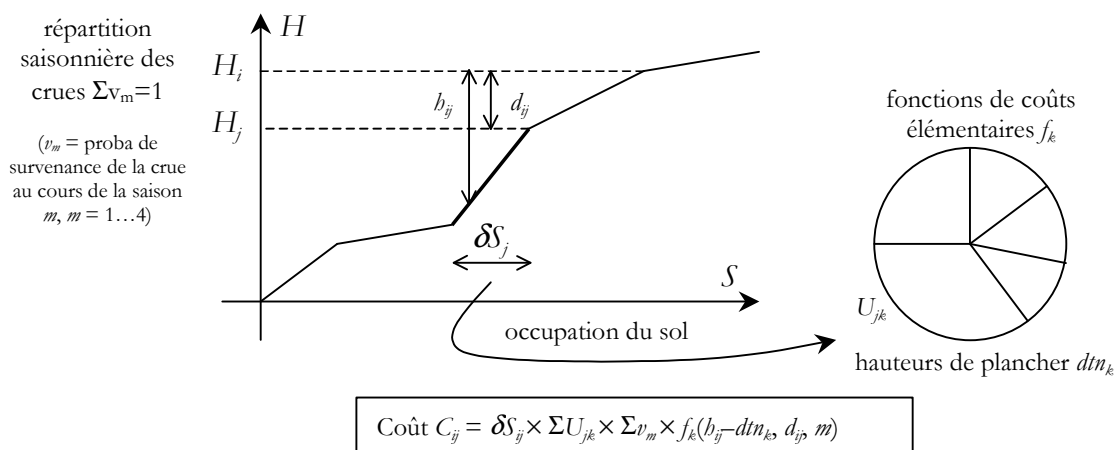


Figure 20 : calcul du coût moyen engendré par les inondations sur un secteur donné et pour une crue considérée (source : [102])

Le calcul final du C.M.A. se fait naturellement par double sommation temporelle et spatiale (sommation sur l'ensemble des crues et sommation sur l'ensemble des tranches de secteur). Cependant, la synthèse des coûts locaux et par type de crue ainsi mesurés est plus délicate qu'il n'en paraît de prime abord. En effet, l'ajustement de la fonction de dommages sur les montants des dommages calculés pour les crues de référence ne suit pas de modèle bien défini... car il n'en existe pas ! En pratique, l'extrapolation des valeurs des dommages d'une crue aux petites valeurs de fréquence N reste très délicate, d'autant que les connaissances en matière de crues exceptionnelles (crues survenant moins d'une fois tous les 5 siècles) sont quasiment nulles. A l'aide de la Figure 21, l'étude illustre ce problème de quantification et souligne à ce titre l'existence de plusieurs écoles en termes de calcul du C.M.A. selon les hypothèses choisies.

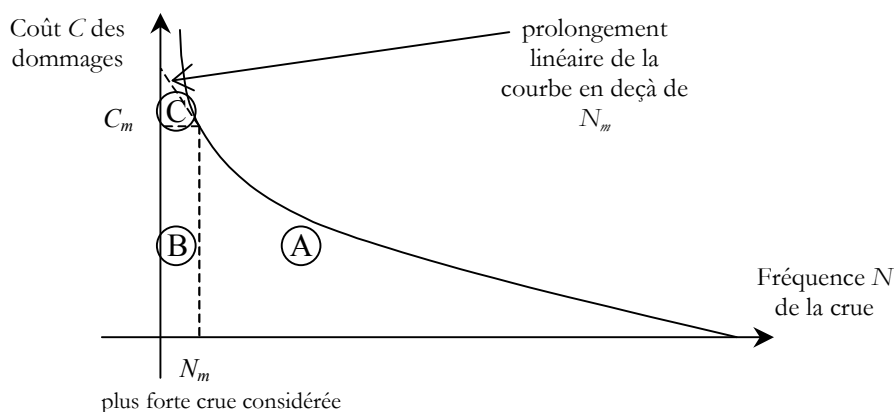


Figure 21 : calcul du C.M.A. et prise en compte des crues de faible fréquence de retour (source : [102])

Remarques concernant la courbe : cette courbe est à distinguer de celle présentée pour introduire la spirale de l'aménagement (Figure 9). La courbe ci-dessus (Figure 21) illustre naturellement l'augmentation du coût des dommages avec la période de retour (ou inversement la décroissance du coût des dommages avec la fréquence). En revanche, la Figure 9 représente le coût des dommages annuels moyens étant donnée la période de retour T de l'événement contre lequel on se protège. Cela correspond en d'autres termes à l'espérance des dommages déplorés pour tous les événements de périodes de retour supérieures à T et pondérés par leurs fréquences associées.

Cette distinction étant faite, le schéma ci-dessus fait apparaître trois possibilités pour le calcul du C.M.A. :

- **C.M.A. = (A)** : cette méthode se cantonne tout bonnement aux crues référencées, c'est-à-dire celles dont la fréquence est supérieure à la fréquence N_m de la crue maximale de référence ;
- **C.M.A. = (A)+(B)** : cette méthode est employée par le Ministère de la Construction du Japon, avec des fréquences allant de 1/6,3 à 1/2000 ;
- **C.M.A. = (A)+(B)+(C)** : cette méthode, contrairement au minimalisme de la méthode précédente, réduit les biais induits par la discrétisation et la linéarisation de la relation fréquence – coût.

L'apport de l'analyse économique dans l'évaluation des politiques de prévention des risques

L'évaluation de la vulnérabilité et des enjeux couplée à la connaissance du caractère aléatoire des phénomènes redoutés permet de définir un niveau de risque. La même recherche prospective peut être amorcée dans le cadre de scénarios traduisant les modifications engendrées par des décisions politiques. L'expression des niveaux de vulnérabilité et de risque à l'aide d'indicateurs économiques permet alors de comparer les différents modes de développement envisagés et de prendre la "bonne" décision.

Dans cette partie, deux modes d'évaluation des actions économiques seront abordés au travers de la variation d'indicateurs :

- **l'indicateur du bien-être collectif W** : la méthode sous-jacente relève de la microéconomie et fait intervenir des notions théoriques comme les fonctions d'utilités individuelles et la disposition à payer pour réduire le risque ;
- **le Coût Moyen Annuel C_m** : cette notion, déjà introduite plus haut, se fonde sur des hypothèses économiques plus faibles puisqu'elle considère implicitement que le décideur cherche à minimiser les dommages – autrement dit, sa fonction d'utilité associée est une simple espérance des gains ; cette méthode présente cependant l'avantage de bien illustrer tous les enjeux économiques associés aux mécanismes de prises de décision.

Une approche économique théorique de la décision dans le domaine de la prévention des risques par la notion de bien-être collectif

Il s'agit de quantifier les transformations marginales du système, engendrées par une décision et traduites par la variation de plusieurs indicateurs économiques.

La méthode se fonde sur deux hypothèses de départ [77] :

- **le décideur est unique**, il observe "de l'extérieur" et ne modifie pas les comportements des autres acteurs du système,
- l'importance attachée aux aspects de l'environnement naturel par les différents acteurs est ramenée autant que possible à des **équivalents monétaires**.

Les changements d'état du système sont quantifiés par le bien-être collectif W agrégeant le patrimoine R et l'utilité U de tous les individus.

Dans le **cadre paretien**, toute action économique est évaluée *ex-ante*. La mesure de la variation du bien-être collectif W est obtenue par sommation des variations pour chacun des individus j par rapport à leurs fonctions d'utilité U_j et patrimoines R_j (Formule 6).

$$dW = \sum_{j=1}^{j=m} \frac{\delta W}{\delta U_j} \cdot \frac{\delta U_j}{\delta R_j} \cdot dR_j$$

Formule 6 : expression de la variation du bien-être collectif dans le cadre paretien (source : [77])

Sous l'hypothèse d'"optimalité de la répartition des revenus", à savoir : $\frac{\delta W}{\delta U_j} \cdot \frac{\delta U_j}{\delta R_j} = c^{ste}$, il suffit

d'additionner les équivalents monétaires nets des différents acteurs pour évaluer l'équivalent monétaire de la décision pour la collectivité.

Dans le **cadre savagien**, quelques légères modifications sont à prendre en compte, relativement à l'existence d'une distribution de probabilité implicite unique pour chaque acteur sur les événements susceptibles de se produire (il s'agit en d'autres termes de prendre en compte les hasards de la Nature). Dans l'hypothèse où cette fonction est la même pour tous (hypothèse de symétrie), on obtient pour chaque événement i une expression de l'espérance de la variation du bien-être collectif dW_i (Formule 7).

$$E[dW_i] = \sum_{j=1}^{j=m} \frac{\delta W}{\delta U_j} \cdot E \left[\frac{\delta U_j}{\delta R_{ji}} \cdot dR_{ji} \right]$$

Formule 7 : expression de la variation du bien-être collectif pour un événement i dans le cadre savagien (source : [77])

La difficulté réside alors dans l'estimation de la dérivée partielle de U_j pour chaque événement i et selon l'évolution du patrimoine R_{ji} engendré.

Lorsqu'une modification d'un état de l'économie est envisagée, entraînant ainsi une modification des arguments de la fonction d'utilité de l'individu autres que le patrimoine, on appelle "**disposition à payer**" le montant monétaire qui serait "compensatoire" de cette transformation pour l'individu, c'est-à-dire qui aurait pour effet de maintenir la valeur de la fonction d'utilité de l'individu concerné. Ce montant est l'évaluation monétaire de la transformation, de la décision envisagée.

En pratique, l'évaluation des dispositions à payer est réalisée par le biais d'enquêtes :

- enquête directe : ce type d'enquête a une tendance à la sur-évaluation, mais celle-ci est compensée par une sous-évaluation lorsque l'enquête exige un versement de fonds ;
- enquête indirecte, dont les objectifs sont :
 - la détermination du comportement de "protection" par l'interprétation de la technologie utilisée pour se prémunir contre tel ou tel risque (*ex.* : détecteur d'incendies) ;
 - la détermination du comportement de l'individu par différenciation du bien d'usage privatif (*ex.* : le déplacement d'une habitation au sein d'une zone sismique) ;
 - la comparaison des fonctions de demande de biens données (ou mesure de l'accroissement du bien-être) avant et après l'application de politiques publiques (*ex.* : installation en zone inondable après la prise de mesures de protection).

L'application d'une telle approche économique à l'étude des risques présente cependant **quelques difficultés** :

- l'existence d'événements à faible probabilité avec des gains ou des pertes importants sont typiques des risques naturels et entraîne la présence de convexités locales sur la fonctionnelle de préférence des individus, remettant ainsi en cause la règle de l'utilité espérée ;
- la prise en compte du risque dans sa dimension temporelle est susceptible de modifier l'aléa des événements entre l'apparition des problèmes et la prise de décision : les individus doivent tenir compte de la possibilité qu'ils ont de modifier la distribution de probabilités à laquelle ils font face ;
- l'hypothèse d'irréversibilité des décisions doit conduire à distinguer les décisions à "valeur d'option" (qui ne ferment pas la possibilité de choix ultérieurs) des décisions irréversibles dont les conséquences peuvent évoluer avec les progrès techniques ;
- l'hypothèse de validité temporelle des évaluations obtenues ("les décisions des générations d'aujourd'hui vaudront pour celles de demain") exige, en termes monétaires, d'arbitrer correctement la répartition des revenus – le souci est le même pour l'environnement et l'approche de la disponibilité à payer ;
- d'autres problèmes subsistent comme la cohérence des résultats en probabilité issus des enquêtes *ex-ante*, l'incertitude quant aux préférences des individus conditionnellement à l'état du système une fois réalisé, etc.

Une approche économique pratique de la décision dans le domaine de la prévention des risques par le Coût Moyen Annuel

La notion de Coût Moyen Annuel introduite auparavant aborde de manière très concrète l'impact économique des décisions sur la réduction des dommages potentiels. Dans la présente partie consacrée à l'évaluation économique des décisions autour du risque, nous conserverons l'exemple des dommages engendrés par les inondations [72].

S'agissant de mesurer les avantages économiques induits par une décision comparativement à la situation consistant à ne rien faire, le calcul se divise en 3 étapes :

- ① : évaluation des nuisances futures en l'absence de projet d'intervention,
- ② : évaluation des avantages attendus des mesures projetées,
- ③ : calcul du coût des projets envisagés.

De manière logique, la décision apparaît avantageuse dès lors que $\boxed{\textcircled{3} - \textcircled{2} < \textcircled{1}}$.

L'évaluation des nuisances futures en l'absence de projet d'intervention

Le modèle de développement naturel

Pour une zone submersible, on distingue :

- le développement naturel : modification de la répartition des richesses au sol en l'absence d'aménagements de prévention et de protection,
- du développement induit : développement découlant d'un aménagement dont les objectifs sont la réduction de la fréquence des inondations et de la vulnérabilité au sol.

Ici, comme on n'envisage pas de projet d'intervention sur la zone, le mode de développement considéré est le développement naturel. Ce dernier est modélisé de la manière suivante : la richesse R de la zone d'étude évolue vers une valeur de saturation R_S avec un taux de variation proportionnel à l'écart entre R et R_S . De fait, R est donné par la Formule 8 :

$$\boxed{R(t) = \frac{R_S}{1 + A \cdot e^{-at}}$$

Formule 8 : valeur de la richesse en fonction du temps dans le cadre d'un mode de développement naturel (source : [72])

Le plafond relatif P est le rapport : richesse "de saturation" / richesse à l'année zéro. Il vaut donc ici $1+A$.

Évaluation économique

Les problèmes inhérents à ce modèle concernent l'ajustement des valeurs R_0 , R_S et $t_{90\%}$ (temps à partir duquel $R(t)$ dépasse $0,9 \times R_S$) et par inférence de P .

L'indicateur retenu pour estimer ces quantités est un indicateur régional I.N.S.E.E. : le revenu brut disponible des ménages, c'est-à-dire la consommation des ménages en biens et services augmentée de l'épargne brute des particuliers.

Le modèle implique facilement le rapport de richesses donné en Formule 9 :

$$\frac{R(t)}{R_0} = \frac{P}{1 + (P-1) \times \left(\frac{100-90}{100} \cdot \frac{1}{P-1} \right)^{\frac{t}{t_{90\%}}}}$$

Formule 9 : rapport “richesse à l’instant t / richesse initiale” dans le cadre d’un mode de développement naturel (source : [72])

d’où le “coefficient multiplicateur annuel de nuisances à francs constants” k , qui appliqué à la nuisance moyenne annuelle de l’année de référence donne le coût moyen annuel des nuisances à l’année t (Formule 10) :

$$k = \frac{P}{1 + (P-1) \times \left(\frac{1}{9} \cdot \frac{1}{P-1} \right)^{\frac{t}{t_{90\%}}}}$$

Formule 10 : coefficient multiplicateur annuel de nuisances à francs constants dans le cadre d’un mode de développement naturel (source : [72])

L’évaluation des avantages attendus des mesures projetées

Les conséquences des actions envisagées

La prise de décision par les politiques conduit à mener des actions se répartissant en projets structurels et en mesures non structurelles. De manière approximative, les premiers agissent sur le caractère aléatoire du phénomène tandis que les secondes ont pour but de réduire la vulnérabilité et les dommages potentiels. Ces deux tendances se traduisent graphiquement par des transformations de la courbe fréquentielle des nuisances (cf Figure 22), selon deux modes :

- **incidence des projets structurels** : de tels projets modifient l’écoulement des rivières, donc indirectement la fréquence des crues (fréquences revues à la baisse) → la valeur modifiée est estimée pour chaque crue de référence y compris la crue maximum non dommageable – au final, la courbe $C(N)$ se déplace vers la droite ;
- **incidence des mesures non structurelles** : de telles mesures ne modifient pas l’écoulement des rivières mais, sous forme de réglementations, de prévention et d’alerte, provoquent une réduction de la quantité des enjeux menacés et une diminution de la vulnérabilité → au final, la courbe $C(N)$ se déplace vers le bas.

Ces deux types de transformations contribuent à faire diminuer le C.M.A. (aire de la zone située sous la courbe) comme le montre la Figure 22.

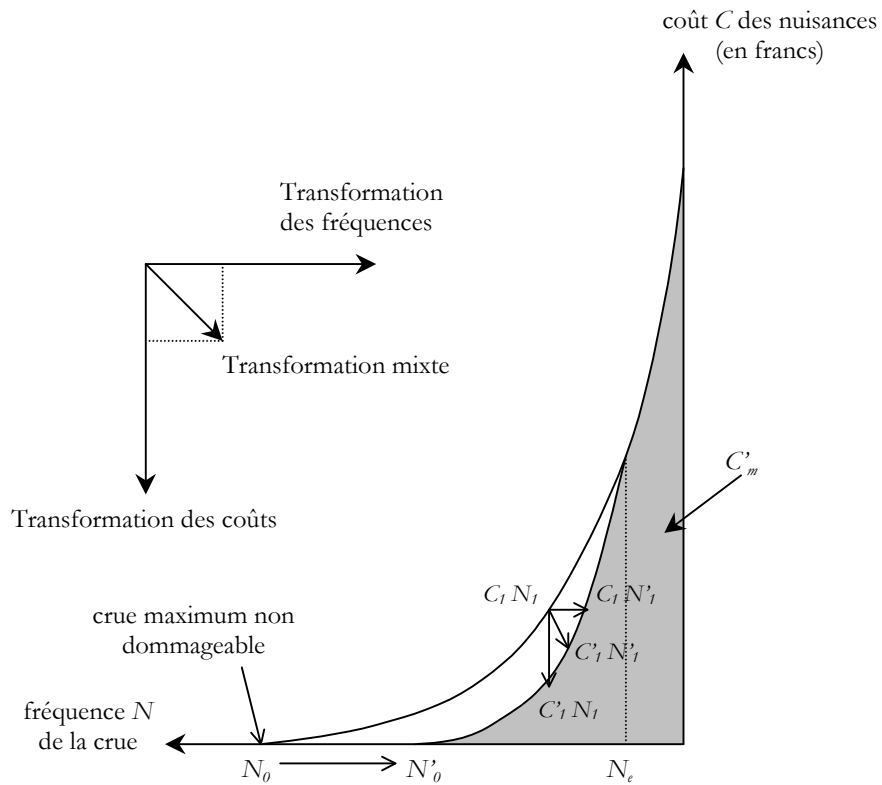


Figure 22 : conséquence des projets envisagés – Nouvelle courbe fréquentielle des nuisances (source : [72])

La Figure 23 recense pour divers projets et mesures envisageables les gains réalisés au travers de la diminution des coûts des nuisances et en fonction de la fréquence des crues.

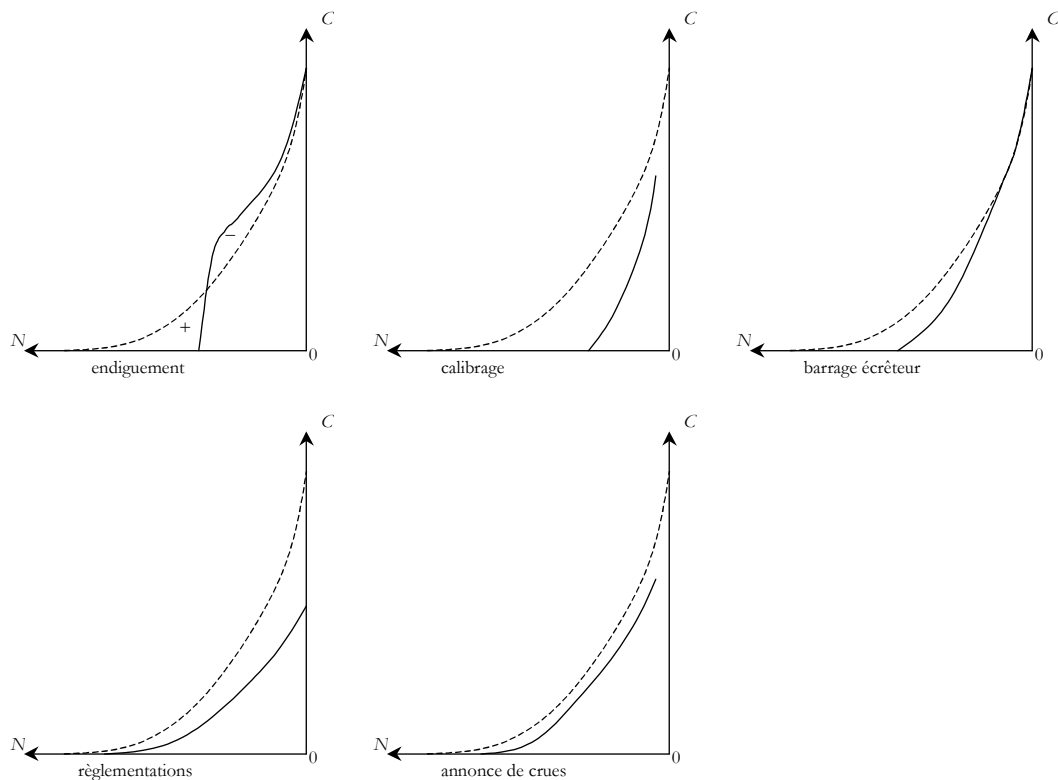


Figure 23 : exemples d'incidences de projets et de mesures d'aménagement sur le coût des nuisances des crues (source : [72])

Le lecteur notera que les avantages induits par la réalisation d'endiguement pour les crues de forte fréquence sont perdus en partie par l'aggravation des coûts pour les crues rares. Cette aggravation est expliquée en partie par la "spirale de l'aménagement" [7][45] : un usage plus productif du sol lorsque celui-ci est protégé par un aménagement peut être complètement détruit à la suite d'une crue dont les caractéristiques dépasseraient la crue de projet (cf Figure 10). A l'opposé, le choix de ne pas protéger certaines zones submersibles et d'y dissuader de nouvelles implantations peut à terme conduire à une réduction des nuisances à la charge de la collectivité.

Les avantages économiques consécutifs aux projets et mesures d'aménagement

Dans la suite logique des concepts introduits lors de la présentation du C.M.A., l'avantage conféré par la réduction des nuisances s'exprime par la différence des coûts moyens sans et avec intervention (Formule 11, où C'_m représente le coût moyen annuel dans le cadre des mesures projetées – cf Figure 22).

$$\bar{R} = \bar{C}_m - \bar{C}'_m$$

Formule 11 : expression de l'avantage retiré d'une politique de réduction des nuisances (source : [72])

L'écart-type de l'avantage \bar{R} est alors donné par la Formule 12 :

$$\overline{S_R} = \sqrt{\overline{S}^2 + \overline{S'}^2 - 2k \cdot \overline{S} \cdot \overline{S'}} \text{ où } k = \frac{\int_0^{N_0} C(N) \cdot C'(N) \cdot dN}{\sqrt{\int_0^{N_0} C^2(N) \cdot dN} \cdot \sqrt{\int_0^{N_0} C'^2(N) \cdot dN}}$$

Formule 12 : écart-type de l'avantage retiré d'une politique de réduction des nuisances (source : [72])

En pratique, les fonctions C et C' (fonctions de coût des nuisances selon qu'aucune mesure n'a été prise ou inversement) sont mal connues pour des fréquences faibles. A titre indicatif, k est estimé à partir d'une grille dont les entrées sont la fréquence N_0 de débordement dommageable avant intervention, la fréquence N'_0 de débordement dommageable après intervention et la fréquence N_e à laquelle les dommages deviennent égaux avant et après intervention.

Le coût des projets envisagés

Les coûts des projets couvrent l'ensemble des dépenses et coûts mesurables ou intangibles supportés par le maître d'ouvrage et les collectivités, de l'échelon local à l'échelon national. Le calcul est actualisé et ramené à l'année de référence – celle de l'étude économique du projet. Les recettes brutes sont évaluées au niveau de chaque cellule avant d'être sommées sur les sous-bassins puis sur les bassins.

Les coûts à prendre en compte sont :

- l'étude préalable : socio-économique, d'impact environnemental et écologique, d'avant-projet, de projet ;
- les achats de terrain et indemnités d'éviction ;
- les dépenses d'aménagement : matériels, ouvrages de génie civil, voies d'accès, insertion dans le site ;
- la probabilité de ruine des ouvrages : sinistre survenant en cours de chantier ou destruction après mise en service ;
- les coûts indirects et intangibles : nuisances apportées par le chantier, allongement en temps et en distance de relations dû aux déviations, interruption et raccordement de réseaux divers, atteintes esthétiques, contentieux ;
- les dépenses de fonctionnement, d'entretien, de réparation, de renouvellement.

Les critères de décision

Dès lors que le décideur dispose de tous les éléments économiques décrits précédemment (coût des projets, modèles de développements durable et induit, courbes des dommages, etc.), il est en mesure de juger du bien-fondé des actions d'aménagement envisagées.

Il va donc comparer la valeur des avantages économiques avec le coût des mesures de protection.

Partant de coûts économiques moyennés à l'année, le décideur va devoir réaliser un compromis entre [7][45] :

- **le coût moyen annuel pour se protéger** contre un événement de période de retour T : il croît évidemment avec T ,
- **le coût des dommages résiduels annuels moyens**, c'est-à-dire l'espérance annuelle des dommages dont on a vu qu'elle est une fonction décroissante de T .

Ce principe correspond au paradoxe de la spirale de l'aménagement, introduit dans le chapitre sur la notion de risque (cf Figure 9 et Figure 10).

Ce paradoxe, rappelons-le, provient de la constatation selon laquelle l'aménagement de protection conduit à une succession de phénomènes aboutissant finalement à considérer des objectifs de prévention de plus en plus grands... donc à aménager de plus en plus !

Les aspects purement économiques ne sont cependant pas les seuls critères que le décideur doit prendre en compte dans sa démarche. Entre autre, il ne faudra pas négliger :

- **la gestion de l'aléa du risque à prévenir** : si le gestionnaire choisit en effet de diminuer le risque en réduisant l'aléa à un endroit donné, il y a de fortes chances pour que l'aléa augmente à un autre

endroit. C'est le cas dans des solutions de déviation d'écoulements d'eau et de de neige reportant ailleurs les inondations et les avalanches. Ce facteur correctement maîtrisé offre au décideur la possibilité de reporter le risque sur des zones moins sensibles, à l'image de la régulation des barrages permettant d'inonder les zones en amont d'une grande ville lorsque des pluies exceptionnelles saturent les cours d'eau ;

- **la prise en compte du comportement des entreprises** : l'incitation pour une entreprise à s'installer dans une zone donnée est effective lorsque le seuil de protection de la zone (après aménagement et selon les prescriptions et réglementations en vigueur) dépasse le seuil d'indifférence ;
- **les fluctuations du marché foncier** : la modification des valeurs foncières est liée au comportement des acheteurs et vendeurs de terrain compte-tenu de leur connaissance des risques encourus et de leurs effets. La différence de valeur au sol avec et sans projet doit être soustraite des dommages d'inondations résiduels. La difficulté du calcul réside justement dans le fait de tenter d'écarter les incidences de la spéculation foncière ;
- **P'éventualité de solutions équivalentes** : à avantages moyens annuels espérés, le maître d'ouvrage peut être amené à choisir entre une recette sur des crues de faible durée de retour et une recette sur des crues de durée plus longues. Si les coûts des ouvrages de protection sont les mêmes, la rentabilité théorique est identique. Il est cependant plus logique de préférer la première protection, car si les avantages sont faibles, ils sont toutefois plus fréquents.

L'après-catastrophe : le bilan des dommages

Après avoir identifié et classé les enjeux, il s'agit de quantifier leur niveau de vulnérabilité et leur valeur sur l'ensemble de la zone soumise. L'objet de cette partie est de baliser le terrain de quelques définitions et règles d'usage dans l'évaluation des pertes économiques et humaines. Dans les paragraphes suivants, nous illustrerons d'exemples diverses méthodes utilisées aujourd'hui.

Usages dans l'évaluation des dommages

L'évaluation des pertes économiques

En matière de **pertes économiques** – qu'elles soient directes ou indirectes – on distingue 3 types de valeurs [66] :

- **la valeur monétaire vénale (marchande)** : il s'agit du prix de l'élément,
- **la valeur monétaire d'usage** : elle correspond à l'activité économique de l'élément (chiffre d'affaire ou d'exploitation),
- **la valeur fonctionnelle** : comme son nom l'indique, elle se traduit par l'ensemble des bénéfices induits sur les autres éléments, par exemple au sein d'une logique de réseau.

L'évaluation de ces valeurs peut se faire par élément ou par unité de surface ou de longueur.

Exemples [24] :

Les dommages sur les biens privés sont évalués à partir de leur valeur marchande. Ils concernent entre autre les résidences, le mobilier, les véhicules, les dépendances et le contenu des dépendances.

Les dommages sur les biens industriels et commerciaux relèvent d'une perte de valeur monétaire d'usage. Leur montant est évalué à partir de bases de données permettant de calculer le chiffre d'affaires des entreprises, mais aussi l'effectif global, le nombre d'établissements, les valeurs de la construction, des équipements et des stocks pour chaque code d'activité A.P.E.

Bien qu'il s'agisse de pertes économiques – et donc de dommages tangibles – le calcul mené ici devient complexe dès lors qu'interviennent des biens non-marchands, des dysfonctionnements d'activités ou de réseau.

Voici quelques méthodologies possibles pour l'estimation de ces types de dommages [102] :

- estimation d'après des **équivalents tangibles sur le marché** (frais de santé, temps de travail perdu...),
- analyse des **marchés de substitution** dont les dommages sont des attributs et évaluation des **consentements à payer** (trajets de remplacement, temps supplémentaire évalué au temps salarial, etc.),
- création d'un **marché fictif** : évaluation du prix maximum que les gens sont prêts à payer pour acquérir ou protéger un bien ou un service. La création d'un marché fictif s'accompagne de biais dont il faut tenir compte :
 - biais stratégique : les populations montrent une faible disposition à payer pour des biens collectifs dont on jouit de toute façon,
 - biais conceptuel : les personnes interrogées interprètent mal le principe du prix à payer pour subvenir à un besoin ou pour se protéger,
 - biais hypothétique : le caractère fictif des événements modifie la valeur même des enjeux,
 - biais opérationnel : le marché fictif ne respecte pas les conditions d'un marché réel.

Enfin, la quantification de dommages intangibles (dégradation de l'environnement, du patrimoine, etc.) demeure problématique, car les populations attribuent à ces enjeux des valeurs inestimables. En pratique, à défaut d'être quantifiés, les dommages intangibles sont simplement évoqués dans les études de risques, à l'exception cependant des pertes en vies humaines pour lesquelles de nombreuses méthodes ont été mises au point, selon le type de risque et les législations en vigueur.

Les pertes humaines : un dommage intangible

Aux différentes valeurs présentées dans le paragraphe précédent (valeur vénale, valeur d'usage et valeur fonctionnelle) s'ajoute une quatrième valeur : **la valeur humaine** [66]. Il serait très avantageux de pouvoir quantifier économiquement l'ensemble de toutes ces valeurs afin de pouvoir les comparer, les sommer, etc. Il demeure cependant difficile d'attribuer une valeur monétaire à un individu. Ainsi, l'évaluation des enjeux humains doit passer par 2 étapes :

- le bilan des populations menacées par le risque ou touchées par la catastrophe,
- le choix d'un mode de quantification des victimes (morts + blessés).

Pour estimer les pertes humaines potentielles, il est souvent d'usage de raisonner avec les densités de population repérées par surface d'occupation type, conformément aux méthodes de découpage présentées plus haut. Les données de référence correspondent alors à des nombres moyens de personnes par type d'occupation du sol, estimé par études de fréquentation, enquêtes ou normes techniques de construction [52].

Par exemple, on pourra estimer **les effectifs de différentes sous-populations** à partir de données INSEE selon les règles simples suivantes [24] :

- population résidente : estimée par le produit densité INSEE \times nombre de résidences principales,
- population active : issue du fichier INSEE des entreprises industrielles SIREN®,
- population secondaire : estimée par le produit population moyenne par résidence secondaire \times nombre de résidences secondaires.

La prévision du nombre de morts, blessés et personnes indemnes parmi les populations menacées peut se déduire de caractéristiques de l'occupation du sol, tel **le degré d'exposition** dans le cas d'explosion ou de pollution [52] :

- dans un espace découvert, 100% des personnes sont touchées dont 10% tuées et 20% gravement blessées,
- dans des espaces confinés (du type "véhicules"), les proportions respectives sont de 12% et 12%,
- dans un espace clos, les proportions respectives sont de 3% et 6%.

Le choix d'un mode de quantification des pertes humaines n'est pas résolu pour autant.

Certes, le caractère peu meurtrier des catastrophes sur le territoire français peut reléguer ce triste bilan au titre d'information secondaire, utile seulement pour l'ébauche de comparaisons entre plusieurs sinistres.

De fait, les pertes de vies humaines résultent souvent de la conjoncture de circonstances maîtrisables séparément mais pas dans leur ensemble ni à l'échelle du territoire (considérez l'exemple de l'inondation de camping dont le bilan humain augmente en période de vacances, aux heures nocturnes, lorsque le terrain est exposé et peu résistant aux coulées de boue, etc.) [102].

Cependant, le caractère inacceptable d'une mort couplé aux pertes réelles pour la société et les assurances milite en faveur d'une interprétation économique dont nous présentons ici quelques issues.

La valeur de la vie humaine – dans son aspect définitif (mort) ou provisoire (blessé) – peut trouver son équivalent parmi la liste suivante [102] :

- valeur de la prime d'assurance-vie ou des dommages & intérêts,
- valeur estimée par les salaires du métier à risque équivalent,
- valeur révélée par les investissements de sécurité,
- “gross output” correspondant à la perte de production et aux difficultés des familles,
- consentement à payer (évalué par enquête).

Exemples :

En Australie, les pertes sont ramenées aux frais de santé et au temps de travail perdu.

Aux États-Unis, les effets d'une catastrophe sur la santé des individus sont mesurés par des barèmes physiques issus de ceux employés pour les vétérans du Vietnam.

En Grande-Bretagne, les impacts sur la santé sont évalués sur des échelles de niveaux de stress, d'anxiété ou d'inquiétude.

En 1979, les Nations Unies proposaient pour leur part d'affecter à une vie humaine la valeur de 7 à 10 fois le P.I.B. par an et par habitant [66].

En France, l'équivalent monétaire utilisé actuellement est tiré de travaux sur les accidents routiers et technologiques. Le “coût tutélaire” global des victimes pour la collectivité est le suivant [52] :

- 1,7 à 2 MF pour un tué (mort en moins de 6 jours après l'accident),
- 160 à 180 kF pour un blessé grave (hospitalisation de plus de 6 jours),
- 9000 F pour un blessé léger.

Ce type de calcul d'équivalence permet de “lisser” les résultats jusque-là établis selon 2 unités distinctes (bilan économique / bilan humain).

Le poids du retour d'expérience

Les références les plus sûres pour évaluer le montant des dommages à la suite d'une catastrophe restent les données fournies par l'expérience. Celles-ci sont issues de plusieurs sources d'information – par exemple, pour les risques d'inondations [72] :

- **l'inventaire des zones inondables** : celui-ci se présente sous la forme d'un atlas représentant les grands bassins et recensant par cours d'eau la périodicité des crues, la répartition saisonnière des crues dommageables, la date de la dernière crue exceptionnelle, la nature des dommages, les facteurs d'endommagement, la longueur, la surface et l'occupation du sol des zones submersibles ;
- **le fichier national des dommages dus aux inondations** : la circulaire n°76165 du 15 décembre 1976 des Ministères de l'Intérieur et de l'Équipement et du Secrétariat d'État aux Transports a instauré un questionnaire détaillé sur les nuisances causées par les cours d'eau et leur contexte hydrologique ;
- **d'autres sources d'informations** : citons entre autre les lois de circonstances, le fonds de secours aux victimes des sinistres et calamités, le secours d'extrême urgence aux victimes des calamités publiques, le régime de garantie contre les calamités agricoles, la législation sur les arrêts de travail et les dommages collectifs subis par l'État et les entreprises publiques.

A une échelle plus fine, les retours d'expérience fournissent des **tableaux** et des **fonctions d'endommagement**, permettant d'estimer le degré d'endommagement des différentes entités touchées sur le territoire. Classiquement, ce degré (ou taux) est un coefficient compris entre 0 et 1, représentatif de la proportion endommagée de l'enjeu. Le produit de ce coefficient par la valeur de l'enjeu fournit alors une estimation du dommage subi (cf Tableau 7 et Tableau 8).

Synthèse

La prévision des dommages repose sur plusieurs hypothèses et principes de modélisation :

- **les dommages dépendent d'un nombre restreint de paramètres** (dont le niveau d'endommagement) décrivant l'action physique de l'aléa considéré – le degré d'incertitude correspondant à la probabilité de survenance de l'aléa n'intervient pas dans la démarche ;
- **l'espace est découpé en parcelles homogènes** selon leur propension à être endommagées (réponse physique à l'action du phénomène) et le type d'entités menacées (découpage de l'espace selon, entre autre, l'utilisation des sols) ;
- **le calcul effectif des dommages potentiels est ajusté sur un ensemble de valeurs de référence**, étalonnées par l'expérience et formalisées sous forme de fonctions ou de tableaux d'endommagement ; de par son caractère intangible, le bilan humain nécessite d'être réalisé séparément ou selon des tables d'équivalences relevant d'hypothèses particulières.

La Figure 24 résume dans sa partie gauche les différentes étapes de l'analyse de vulnérabilité : décomposition des éléments exposés, confrontation aléa – entités menacées et application de fonctions d'endommagement et, enfin, estimation du niveau de vulnérabilité au travers de l'indice des pertes. La mise en relation de ce dernier avec le caractère aléatoire du risque (probabilité d'occurrence de l'aléa) dans la partie droite du schéma (partie "analyse de risque") conduit à l'évaluation finale d'un indice de risque.

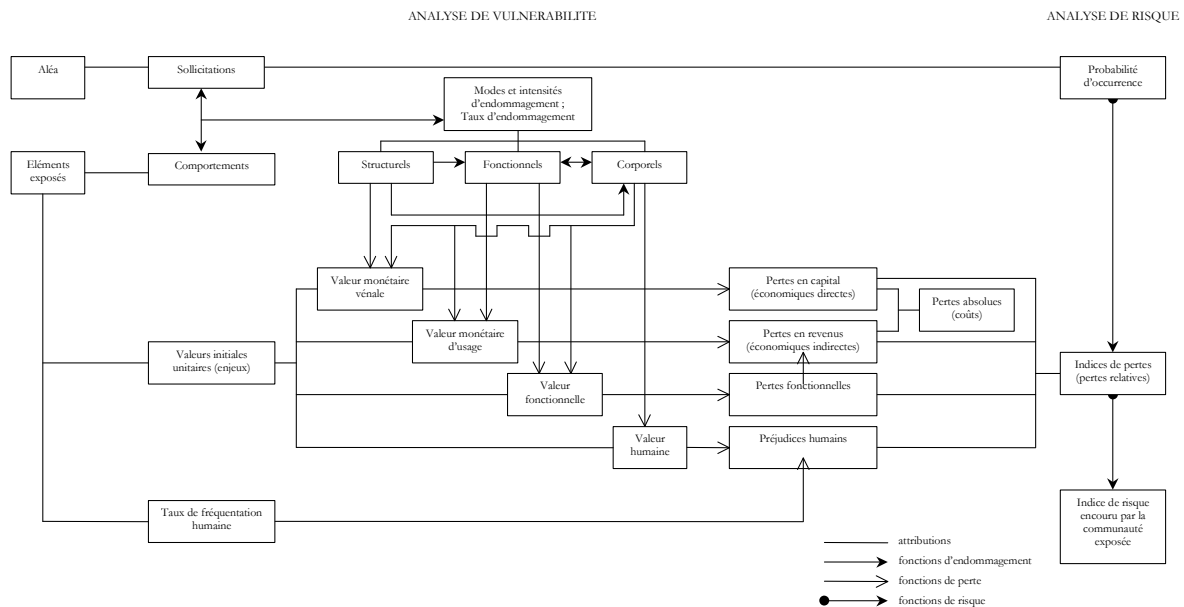


Figure 24 : étapes méthodologiques pour une évaluation de la vulnérabilité et du risque (source : [66])

Dans les paragraphes suivants, nous n'avons pas tant l'ambition de développer des méthodes permettant d'extrapoler ces quantifications *a posteriori* à des évaluations prospectives, que de donner des ordres de grandeur des coûts des catastrophes, de rendre compte des effets d'échelle (échelle macroscopique vs échelle microscopique) ainsi que de la multitude des acteurs impliqués dans cette phase de gestion du risque.

L'échelle macroscopique dans l'évaluation des dommages

Chiffrer le montant des dégâts à la suite d'une catastrophe à des échelles allant de la commune jusqu'à l'étendue complète des zones sinistrées met en jeu des coûts qui dépassent bien souvent l'entendement des populations.

Le détail des dommages ainsi obtenu permet en pratique d'effectuer des comparaisons avec d'autres bilans de catastrophes d'une part et de rendre compte globalement des dégâts relatifs à tel ou tel type de biens ou d'infrastructures d'autre part.

La mesure des catastrophes par des échelles empiriques

Il existe de nombreuses échelles, ciblées sur un type de risque ou de catastrophe. Nous avons vu qu'il existait plusieurs échelles pour décrire l'aléa de phénomènes naturels (tempêtes, séismes, cyclones, etc.) ; de la même manière, des échelles ont été élaborées pour classer les catastrophes en fonction de leurs conséquences dommageables [27] :

- L'échelle de Richter n'est pas adaptée pour décrire l'impact d'un séisme, notamment car elle ne donne l'intensité qu'au niveau de l'épicentre. En Europe, on préfère l'échelle M.S.K. qui considère l'intensité du séisme en regard des dégâts physiques constatés en tout point de l'espace. La décroissance de cet indice autour du centre donne une bonne image des effets réels du séisme, sans toutefois prendre en compte le nombre de victimes.
- L'échelle de Fujita mesure l'intensité des cyclones en regard des destructions occasionnées.
- L'I.N.E.S. (International Nuclear Event Scale) classe les incidents et accidents des installations nucléaires sur une échelle de 7 niveaux de gravité.
- Une échelle de gravité des accidents industriels est en cours de négociation au niveau européen, sur la base de la seule observation des effets des accidents. Son adoption se heurte aux problèmes éthiques dus à l'attribution de valeurs différentes aux vies humaines, selon que l'on se place sur le site de l'accident ou à l'extérieur.
- Récemment, une échelle des violences urbaines a été établie sur 8 niveaux (6 niveaux de violences d'intensité croissante + 2 niveaux extrêmes correspondant aux émeutes).

La disparité des bilans humains, économiques et naturels oblige l'emploi d'échelles logarithmiques. Les échelles proposées ici (Tableau 18, Tableau 19 et Tableau 20) sont absolues : pour obtenir des valeurs relatives, il faudra normaliser par des indicateurs dictés par le contexte, par exemple le P.N.B. d'un pays ou sa population totale pour rendre compte de l'impact économique ou humain d'une catastrophe.

Nombre de victimes	Niveau	Exemple
0 – 9	1	Cyclone Iniki (Etats-Unis, 1992)
10 – 99	2	Inondation (Irlande, 1997)
100 – 999	3	Typhoïde (Tadjikistan, 1997)
1 000 – 9 999	4	Bhopal (Inde, 1984)
10 000 – 99 999	5	Séisme d'Izmit (Turquie, 1999)
100 000 – 999 999	6	Cyclone du Bangladesh (1970)
Supérieur à 1 million	7	Grippe espagnole (1918-1919)

Tableau 18 : échelle des catastrophes selon le nombre des victimes (source : [27])

Millions de francs	Niveau	Exemple
0 – 9	1	Glissement de terrain Mocotero (Bolivie, 1998)
10 – 99	2	Cyclone Linda (Vietnam, 1997)
100 – 999	3	Incendies (Indonésie, parc de Kutai, 1998)
1 000 – 9 999	4	Accident Three Miles Island (1979)
10 000 – 99 999	5	Plate-Forme pétrolière Piper Alpha (Angleterre, 1988)
Supérieur à 100 000	6	Cyclone Andrews (Etats-Unis, 1992)

Tableau 19 : échelle des catastrophes selon les pertes financières (source : [27])

Poids de biomasse (tonne)	Niveau	Exemple
0 – 9	1	Catastrophe du Boeing égyptien (Etats-Unis, 1999)
10 – 99	2	Séisme de Mexico (Mexique, 1985)
100 – 999	3	Vague de chaleur (Etats-Unis, 1999)
1 000 – 9 999	4	Orage du Grand-Bornand (France, 1987)
10 000 – 99 999	5	Eruption du volcan Saint-Helens (Etats-Unis, 1980)
100 000 – 999 999	6	Cyclone Mitch (Amérique centrale, 1998)
Supérieur à 1 million	7	Tempête (France, décembre 1999)

Tableau 20 : échelle des catastrophes selon les pertes de biomasse (source : [27])

A. Dauphiné [27] propose d'établir une échelle globale des catastrophes, prenant en compte les impacts financiers, écologiques, et, dans une mesure plus marquée, les bilans humains (cf Tableau 21).

Pertes humaines	Pertes financières	Pertes écologiques	Niveau	Dénomination	Exemples
1	1 et 2	1 et 2	I	Accident	
2	1 à 4	1 à 4	II	Désastre	Tempêtes (France, 1999)
3 et 4	1 à 6	1 à 6	III	Catastrophe	
5	2 à 6	2 à 7	IV	Catastrophe majeure	Séisme d'Izmit (Turquie, 1999), éruption de la montagne Pelée (1902)
6 et 7	4 à 6	2 à 7	V	Super catastrophe	Shoa, massacre du peuple cambodgien, grippe espagnole, sida, séisme de Tangshan (1976)

Tableau 21 : échelle synthétique des catastrophes (source : [27])

Cette classification permet de mener des études comparatives au-delà du contexte national, mais présente cependant le défaut de sous-évaluer les impacts à long-terme.

Le coût du risque du point de vue des assurances à l'échelle mondiale

La compagnie suisse de réassurances Swiss Re a établi au premier trimestre 2001 un bilan des coûts humains et financiers induits par les catastrophes survenues dans le monde en l'an 2000 [96]. Le bilan fait état :

- de 17400 morts, dont 9600 au titre des catastrophes "techniques" : explosions, accidents aériens, etc.,
- et d'une facture de 50 milliards dollars, dont 10,6 milliards de dommages assurés, répartis en 7,5 milliards pour les catastrophes naturelles (dont 2,5 milliards pour les sinistres d'inondations) et 3 milliards pour les catastrophes techniques (dont 1,3 milliards pour les incendies et explosions, 1 milliard pour les catastrophes spatiales et 397 millions pour les catastrophes aériennes).

Les 2/3 des victimes ont succombé dans des accidents majeurs de circulation (routière, aérienne et maritime), reflétant ainsi l'accroissement des déplacements humains.

Actuellement, les prix tarifaires de la réassurance sont en constante progression, car il est de plus en plus crucial de couvrir les frais à long terme

Exemple de coûts liés à une catastrophe écologique majeure : le naufrage du pétrolier Erika

Le lundi 22 janvier 2001, le cabinet d'audit Mazars et Guérard, spécialisé dans les missions d'évaluation de préjudice, a annoncé les résultats d'une étude commandée en septembre 2000 par l'association Ouest Littoral Solidaire [97]. Cette association, dont les régions Bretagne, Pays-de-la-Loire et Poitou-Charentes sont membres, avait en effet engagé une étude sur les préjudices liés à la marée noire provoquée par l'Erika en décembre 1999 au large des côtes bretonnes.

Selon ce cabinet, la note se situerait dans une fourchette comprise **entre 5,5 et 6,3 milliards de francs**, dont 80% correspondraient "à des dommages avérés ou à des coûts déjà engagés". Les experts précisent bien que les évaluations ne concernent que les "dommages réellement mesurables et vérifiables".

Les coûts se répartissent à hauteur de 38% pour les Pays-de-la-Loire, 30% pour la Bretagne et 5% pour Poitou-Charentes, sans autre affectation régionale possible pour le solde.

Le préjudice estimé pour le **tourisme** se situerait entre 2,6 et 3,2 milliards de francs (décomposé en 80% de pertes de chiffres d'affaires et 20% des pertes à envisager jusqu'à un retour à la normale prévu pour fin 2002).

Il faudrait aussi compter sur 150 à 200MF pour restaurer **l'image du tourisme** au moyen de campagnes institutionnelles.

Préjudices pour les autres secteurs :

- **activités maritimes** : entre 340 et 480MF,
- **environnement** : entre 230 et 350MF dont 50 pour le traitement des oiseaux mazoutés, 40 pour la restauration des zones polluées et entre 140 et 190 pour les études de surveillance et de suivi.

Les dépenses prises en charge par la **société TotalFinaElf** s'élèvent à 1 milliard (moitié pour la neutralisation de la cargaison, moitié pour le nettoyage et le traitement des déchets).

L'État (900MF) et **les collectivités territoriales** (190MF) ont engagé plus de 16% des dépenses de réparation.

Le montant de **l'enveloppe du FIPOL** est fixé à 1,2 milliard, quel que soit le montant réel du préjudice. A la suite de ces déclarations, l'association envisage d'obtenir la réparation complète par des "actions au plan judiciaire" et des concertations avec Matignon.

Exemple de coûts engendrés par une crue à l'échelle de plusieurs départements

La crue du Tarn des 8 et 9 novembre 1982 a sérieusement touché les départements de l'Aveyron, du Tarn et du Tarn-et-Garonne. Deux semaines après la catastrophe, les premiers bilans font état de plusieurs millions de francs de dégâts [31] :

- Dans le département de l'Aveyron, la crue est qualifiée de **centennale**. Parmi les dommages déplorés :
 - RN9 coupée à Millau + 5 ponts emportés,
 - 3 localités sinistrées dont Millau,
 - 90 MF de dommages sur les biens privés,
 - 100 MF de dommages sur les entreprises,
 - 38,5 MF de dommages sur les voies routières,
 - 4 à 5 MF de dommages agricoles.
- Dans le département du Tarn, la crue est qualifiée de **cinquantennale**. Parmi les dommages déplorés :
 - 5 localités sinistrées dont Albi et Gaillac,
 - 250 MF de dommages provisoires.
- Dans le département du Tarn-et-Garonne, la crue est qualifiée de **trentennale**. Parmi les dommages déplorés :
 - 3 routes départementales coupées,

- Montauban sinistrée,
- 45 MF de dommages sur les biens privés,
- 32 MF de dommages sur les entreprises (répartis en 10 MF pour les artisans, 11 MF pour les commerçants et 11 MF pour les industries et entreprises),
- 6,5 MF de dommages sur les voies routières,
- 5,7 MF de dommages agricoles et sur les élevages,
- 363 MF de dommages sur les logements (répartis en 40 MF collectifs et 323 MF individuels).

A titre indicatif, voici les enveloppes obtenues par les autorités locales pour la ville de Montauban, les sinistrés et les associations caritatives, dans les jours qui ont suivi les inondations :

- 1000F par adulte et 500F par enfant pour les personnes en situation de grand dénuement de la part de la mairie + aides complémentaires aux particuliers sans assurance,
- 300 kF pour la ville et les associations de la part du Conseil Régional,
- 500 kF pour les sinistrés de la part du Conseil Général,
- 600 kF pour les sinistrés de la part de la mairie.

Exemple de coûts potentiels estimés par retour d'expérience à l'échelle d'un bassin versant

Les bilans détaillés des dommages à la suite de catastrophes constituent un bon point de départ pour une évaluation prospective des coûts, et cela pour deux raisons :

- d'une part, le niveau faible de détail adopté dans de tels bilans permet de ne prendre en compte que les dommages cadrant avec les hypothèses du modèle d'évaluation,
- d'autre part, l'information relative au caractère aléatoire des phénomènes survenus (estimation de la probabilité d'occurrence ou de la période de retour) autorise des calculs d'espérance de coûts.

Pour illustrer ce type de démarche, nous présentons ici une étude effectuée sur le bassin de la Loire et dont l'objectif était d'**estimer un Coût Moyen Annuel (C.M.A.)** des dommages provoqués par inondations (ce coût correspond ici à l'espérance des coûts des dégâts occasionnés par l'action des différents crues probables sur la zone considérée) [101].

Par hypothèse, le calcul ne prend en compte que les **dommages tangibles** dans la zone inondée (dommages matériels aux habitats, aux cultures et aux activités non agricoles ainsi que les pertes d'exploitation pour les activités non agricoles). Par inférence, les dommages suivants n'ont pas été pris en compte :

- les ruptures partielles ou totales de fonctionnement des réseaux et des services,
- les dommages directs aux biens des collectivités et aux infrastructures,
- les dommages intangibles (dommage au patrimoine, effet sur la santé, etc.).

D'après une autre hypothèse, chaque coût global est une addition des coûts individuels sans déduction des indemnisations éventuelles.

Une estimation régionale a été réalisée pour la Loire moyenne entre les confluent de l'Allier et de la Maine, avec comme hypothèses supplémentaires sur l'aléa l'intégration des ruptures de digues par pondération probabiliste et le choix de ne pas prendre en compte l'éventuelle rupture du barrage de Villerest. Le calcul a été mené en considérant comme probables et significatives un panel de crues de période de retour de 2 à 500 ans et en simulant pour chacune d'elles les incertitudes relatives au coûts régionaux afin d'obtenir en bout de course un intervalle de confiance sur le C.M.A. (cf Tableau 22).

Période de retour	Débit à l'aval du confluent de l'Allier (m ³ /s)	Espérance de coût régional	Intervalle de confiance à 70%	
2	1780	19	9	28
5	2560	130	53	210
10	3090	460	130	830
20	3610	870	300	1400
50	5310	2500	1000	4000
100	7150	8700	4400	13000
200	9320	18000	9600	27000
500	12200	34000	18000	50000
C.M.A. (Coût Moyen Annuel)		400	230	580

Tableau 22 : exemple d'estimation régionale du Coût Moyen Annuel pour la Loire moyenne (coûts en millions de francs au 3^{ème} trimestre 1991) (source : [101])

Notez la grande variabilité des résultats, due en partie :

- à la variabilité des distributions (en forme et en valeurs) d'un secteur à un autre,
- aux discontinuités des relations "intensité de crue-coût des dommages", dont le sens physique correspond par exemple au seuil de rupture d'une digue, lui-même affecté d'une valeur de probabilité.

L'évaluation empirique des dommages indirects

Les dommages indirects correspondent au coût des pertes d'activités dues aux dysfonctionnements engendrés par les crues (pertes commerciales et agricoles, pertes des services) ainsi qu'au coût des mesures de gestion de crise (réduction des obstacles, sauvegarde des personnes, détournements de trafic, allongements de délais, etc.).

L'évaluation de ce type de dommages est très complexe étant donnée la ramification des conséquences économiques, fonctionnelles et organisationnelles engendrées au lendemain de catastrophes. A défaut d'analyse économique exhaustive en la matière, le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie proposait en 1980 de se référer aux coefficients utilisés depuis 1965 aux États-Unis pour le risque d'inondation et issus de constatations empiriques (cf Tableau 23) [72].

Catégorie de biens ou activités sinistrées	Dommages indirects, en % des dommages directs	
Logements	15	
Commerces	35	
Industries	45	
Services privés	10	
Equipements publics	34	
Réseau routier	25	
Réseau ferroviaire	23	
Agriculture	Céréales	48
	Betteraves à sucre	26
	Fruits et légumes	24

Tableau 23 : estimation des dommages indirects consécutifs aux inondations, par comparaison aux dommages directs enregistrés par type de biens ou d'activités (États-Unis – 1965) (source : [72])

De telles simplifications dans l'évaluation *a priori* des dommages indirects causés par une catastrophe laissent entrevoir un large champ de recherche dans l'analyse et la modélisation des dysfonctionnements et de leur gestion sur des zones sinistrées. Nous aborderons à nouveau cette thématique à l'occasion de la partie consacrée aux réseaux.

L'échelle microscopique dans l'évaluation des dommages

Nous avons vu dans un paragraphe précédent que l'analyse de vulnérabilité sur une zone menacée par une catastrophe nécessitait de découper l'espace à des degrés de précision plus ou moins fins selon les objectifs fixés. En l'occurrence, deux types d'approche peuvent être distingués :

- **une approche globale de l'espace** par la description plus ou moins détaillée de l'occupation du sol sur la zone sinistrée : l'échelle d'étude correspond grosso modo aux exemples abordés dans le paragraphe précédent "l'échelle macroscopique dans l'évaluation des dommages" ; les biens, bâtiments, activités et populations présents au sol sont résumés au mieux en un petit nombre de catégories génériques pour lesquelles on dispose de valeurs de références fournies par l'expérience ;
- **une approche détaillée de l'espace** par typologie des bâtiments, des sols et des infrastructures : l'échelle d'étude est résolument microscopique ; l'appréciation des dégâts consécutifs à une catastrophe nécessite de mesurer au cas par cas l'impact de l'aléa sur chacune des différentes unités au sol décrites de manière exhaustive.

Au travers du cas particulier du risque d'inondations, nous développerons cette approche en nous intéressant aux hypothèses méthodologiques qu'impliquent une telle démarche, à la constitution du recueil de données sur les dommages et à la synthèse des résultats. A cette occasion, nous reproduirons en fin de partie plusieurs tableaux d'endommagement issus d'études variées. A ce propos, nous tenons à souligner à nouveau l'importance des tableaux et fonctions d'endommagement, car ils constituent les interfaces entre l'analyse des unités touchées par la catastrophe et l'évaluation des dommages – en particulier économiques.

Bases méthodologiques et constitution du recueil des données pour une évaluation microscopique des dommages

A ce stade de l'étude, nous supposons que les unités menacées par le risque d'inondation sur la zone d'étude ainsi que les différents dommages potentiels ont été identifiés au préalable.

Il s'agit à présent de quantifier localement les dommages pour chacune des unités menacées, c'est-à-dire selon une double paramétrisation décrivant le mieux possible les caractéristiques physiques de l'aléa d'une part et des biens exposés d'autre part.

L'échelle d'étude implique à cet effet la réalisation d'enquêtes consécutivement à des inondations [59]. Celles-ci ne doivent pas perdre de vue que l'objectif de la démarche est de mettre en relation dommages et aléa par type d'unité sinistrée, c'est-à-dire de déceler les facteurs explicatifs de la vulnérabilité aux inondations des biens exposés et de proposer à terme des courbes d'endommagement en fonction des paramètres significatifs.

Le recueil des données permettant de réaliser ce type d'étude locale n'est pas à l'abri d'incertitudes, compte-tenu des étapes de caractérisation physique de l'inondation d'une part, et d'identification des unités soumises au sol d'autre part [102].

Les données repertoriées doivent d'abord faire état des **caractéristiques physiques de l'aléa** "inondation" par comparaison avec des valeurs-seuils de référence :

- **le seuil de submersion** (débordement hors du lit mineur) : la notion est loin d'être univoque. Un tel seuil peut en effet être considéré comme dépassé dès que les rues sont "mouillées", les caves sont inondées, les niveaux habités sont atteints, etc. En pratique, les erreurs induites peuvent atteindre 20% pour des seuils exprimés en débits Q et 20 cm pour des seuils exprimés en hauteur H ;
- **le seuil d'apparition des dommages** : cette notion est encore plus subjective puisqu'elle se rattache plus à un niveau à partir duquel les gens se plaignent qu'à un seuil d'apparition effective du premier dommage. De fait, les indicateurs d'un tel seuil relèvent plus de la perception de la vulnérabilité.

Par ailleurs, l'état des surfaces inondées introduit également beaucoup d'incertitudes dans la constitution de la base de données. La connaissance de ces surfaces peut provenir de contours observés par le passé et éventuellement utilisés en cartographie élémentaire, de photographies aériennes de crues, de cartographies issues de modélisation de crues, etc. L'erreur relative quadratique moyenne sur cette information est de l'ordre de 15%.

Les données répertoriées doivent également décrire au mieux les différentes **unités sinistrées au sol**. En pratique, l'identification est faite à partir de cartes géographiques, du plan cadastral, de photographies aériennes, de documents d'urbanisme et d'expertises-terrain. Les imprécisions de cette étape d'identification concernent :

- la quantification des nombres de logements et des pourcentages surfaciques,
- les seuils "zéro logement",
- les hauteurs de planchers et leur agrégation par moyenne,
- la non-uniformité de la densité d'occupation des habitations.

Retenons à titre indicatif que l'erreur relative quadratique moyenne est de l'ordre de 10 à 15% pour les surfaces d'habitat et d'activités, de 10 à 30% pour les surfaces agricoles et de 15 à 20% pour les autres surfaces. L'erreur sur l'estimation des densités de logement ou d'exploitations agricoles est de l'ordre de 10%.

A l'issue de la constitution de ce recueil de données, l'analyste est en mesure de fournir une première synthèse sous forme de simples tableaux d'endommagement. Dans un deuxième temps et sous certaines hypothèses à formuler, l'emploi de méthodes statistiques de traitement des données peuvent conduire à l'élaboration de fonctions de coûts et ainsi à la description des mécanismes d'endommagement. Citons entre autre [59] :

- l'A.F.C. (Analyse Factorielle des Correspondances) pour lier variables qualitatives et quantitatives,
- l'Analyse de la Variance pour déterminer l'influence des variables quantitatives sur les variables qualitatives,
- les régressions linéaires simples et multiples fonctions de paramètres explicatifs des dommages pour dégager les tendances sur les variables quantitatives.

Quelques résultats...

Toujours dans le domaine des dommages provoqués par les crues, voici un ensemble de constats et tableaux d'endommagement issus d'enquêtes réalisées à la suite d'événements survenus en Seine-Saint-Denis, dans le Rhône et dans les Bouches-du-Rhône [59]. Environ une centaine de personnes ont été interrogées dans chaque département. Les périodes de retour des crues concernées s'échelonnent de l'année au siècle.

Le dépouillement des enquêtes conduit à établir des premiers constats :

- la valeur des biens mobiliers est donnée par unité de surface (F/m²) soit : 5384 F/m² de biens exposés pour une maison sans sous-sol, 56000 F/logement pour une maison avec sous-sol et 26000 F pour un bâtiment sans sous-sol ;
- la durée de submersion moyenne est de 17 heures pour une hauteur d'eau de 54 cm ;
- 50% des personnes ne prennent pas en compte l'existence du risque d'inondation ;
- 46% des personnes prennent des mesures après avoir subi une inondation (tant sur l'aléa que sur la vulnérabilité et les mesures d'urgence : cloisonnement, évacuation, modification de l'installation électrique et des revêtements, mise à l'abri d'objets, etc.) ;
- dans 4% des bâtiments, le risque d'inondation est pris en compte dès la construction.

Les dommages aux biens immobiliers et mobiliers sont synthétisés dans des tableaux d'endommagement, distinguant plusieurs types d'habitat et de modes d'endommagement (cf Tableau 24 et Tableau 25).

	maison individuelle		habitat collectif	
	avec sous-sol	sans sous-sol	avec sous-sol	sans sous-sol
nombre d'enquêtes	31	46	11	5
dommages à la construction	161 F	4015 F	1818 F	0 F
dommages aux abords	1564 F	4583 F	0 F	0 F
dommages aux équipements	1506 F	3833 F	5445 F	37800 F
dommages à l'installat° chauffage	933 F	2646 F	3982 F	46680 F
moyenne globale	4164 F	15077 F	11245 F	84480 F

Tableau 24 : dommages aux biens immobiliers (moyenne en francs – 1994) (source : [59])

	maison individuelle		habitat collectif	
	avec sous-sol	sans sous-sol	avec sous-sol	sans sous-sol
nombre d'enquêtes	43	54	13	9
moyenne globale	10759 F	14524 F	7256 F	18622 F

Tableau 25 : dommages aux biens mobiliers (moyenne en francs – 1994) (source : [59])

Une régression linéaire permet enfin d'estimer des fonctions de coût sur les différents biens endommagés, en fonction des deux paramètres de nuisances habituels (hauteur d'eau et durée de submersion), comme indiqué dans le Tableau 26. La qualité de l'ajustement linéaire est traduite par la valeur du coefficient R^2 (qualité d'autant meilleure que R^2 avoisine 1).

type de dommage	critère	fonction de dommage (en F)	R^2
immobilier	avec sous-sol	$(36.2 \times H) + 1576$	0.10
	sans sous-sol	$(105 \times H) + (1256 \times D) + 330$	0.39
	avec sous-sol et durée > 1 heure	$(53 \times H) + 6702$	0.06
mobilier	sans sous-sol et durée < 1 heure	$(150 \times H) + 2425$	0.38
	avec sous-sol et durée > 1 heure	$(292 \times H) + 3119$	0.24
dommages globaux	avec sous-sol	$(84 \times H) + (174 \times D) + (71 \times S)$	0.24
	sans sous-sol	$(153 \times H) + (1165 \times D) + 13650$	0.21

Tableau 26 : fonctions de dommages (en F) en fonction de la hauteur d'eau H (en cm) et la durée de submersion D (en heures) (source : [59])

La synthèse des données recueillies sur l'endommagement des biens par l'action des crues peut également concerner le coefficient (ou taux) d'endommagement : par exemple, coefficients d'endommagement des biens immobiliers, des biens mobiliers et des différents biens matériels des populations, comme le montrent le Tableau 27, le Tableau 28 et le Tableau 29 [72].

bâtiment de type moderne	hauteurs d'eau maxima atteintes				
	moins de 50 cm	de 50 à 99 cm	de 100 à 199 cm	de 200 à 299 cm	plus de 300 cm
coefficient d'endommagement global	4%	6%	10%	19%	32%

Tableau 27 : coefficient d'endommagement global des biens immobiliers par action des crues – enquête japonaise de 1967 (source : [59])

toutes catégories de biens mobiliers familiaux	hauteurs d'eau maxima atteintes au-dessus du plancher du 1 ^{er} niveau				
	moins de 50 cm	de 50 à 99 cm	de 100 à 199 cm	de 200 à 299 cm	plus de 300 cm
coefficient d'endommagement moyen	13%	19%	37%	53%	71%

Tableau 28 : coefficient d'endommagement global des biens mobiliers par action des crues – enquête japonaise de 1967 réalisée auprès de 403 familles sinistrées (source : [59])

Chacun de ces tableaux d'endommagement peut conduire à dégager une loi sur le coefficient d'endommagement global, le plus simplement par régression linéaire. En l'occurrence, on obtient respectivement les deux relations $k_j=1,93+0,067 \times b$ et $k_j=8,37+0,19 \times b$ où k_j est le coefficient d'endommagement (en pourcentage de la valeur du bien considéré) et b la hauteur d'eau maximum ou moyenne, selon les cas (en centimètres).

Types de biens	% de la valeur résiduelle
Voiture automobile	50
Vêtements :	
- entièrement submergés	25
- à moitié submergés	50
- légèrement submergés	75
Produits pharmaceutiques	10
Tissus	50
Produits alimentaires	0
Meubles meublants :	
- totalement submergés	25
- à moitié submergés	50
- légèrement submergés	90
Quincaillerie	50
Equipements de sports	25
Divers	25

Tableau 29 : valeurs résiduelles de biens estimées aux États-Unis (en % de leur valeur initiale) (source : [59])

Bien entendu, les tableaux et fonctions d'endommagement ne se cantonnent pas à exprimer des coûts absolus ou des indicateurs standards. La connaissance des coûts relatifs d'un type de dommages est difficile à quantifier par rapport à d'autres dommages dont les montants sont plus simples à évaluer, mais elle reste d'un grand secours pour l'étude détaillée des dégâts. Ces informations, déduites directement de l'expérience, peuvent par exemple mettre en relation le coût des dommages indirects ou des dysfonctionnements d'activité par rapport au montant total des dommages directs. Il peut s'agir également de proportions de coûts, comme dans le Tableau 30 où les enquêteurs ont tenté de déterminer la décomposition des dommages mobiliers déplorés à la suite d'une crue.

Catégorie de dommages mobiliers	% du coût des dommages par rapport au total des dommages mobiliers de l'échantillon
Meubles meublants	38,5
Tapis, moquettes, rideaux, voilages, papiers peints, peintures	19,8
Appareillage ménager	18,3
Radio, TV, téléphone, tourne-disques, caméra, etc.	1,3
Linge de maison	4,2
Effets personnels	2,9
Denrées alimentaires, produits pharmaceutiques et ménagers	1,8
Livres, archives, documents, objets de collection, œuvres d'art	3,3
Autres	9,9
Total	100,0

Tableau 30 : coûts relatifs sur les biens mobiliers estimés d'après une enquête réalisée auprès de 90 logements dans la vallée de l'Orb en novembre 1969 (source : [59])

Les utilisations que l'on peut faire des données d'enquêtes sont multiples et nous en terminerons l'illustration par une comparaison interrégionale des dommages mobiliers consécutifs à des inondations (cf Tableau 31).

Localisation	Date	Montant des dommages immobiliers (en francs 1978)
Le Mans	Novembre 1966	3195
Perpignan	Octobre 1965	3425
Bassin de l'Aude	Octobre 1965	4115
Béziers	Octobre 1969	4465
Vallée de la Loire	Crue fictive 1965	6000
Vallée de la Cèze	Septembre 1958	6925

Tableau 31 : dommages mobiliers enregistrés pour différentes crues observées sur le territoire français (source : [59])

Bien que les méthodes d'estimations des dommages souffrent de nombreuses incertitudes, ces résultats font apparaître la grande variabilité régionale des coûts.

Synthèse

La profusion d'études sur l'évaluation empirique des dommages de tous genres déplorés à la suite de catastrophe montre combien la paramétrisation des phénomènes et des modes d'endommagement est complexe. A ce titre, il semble difficile de s'affranchir de toutes les spécificités des phénomènes aléatoires et des différents espaces touchés, en tentant d'établir des tableaux et fonctions d'endommagement qui seraient universels. Le lecteur trouvera en Annexe 3 les grandes lignes d'une étude très détaillée sur les dommages potentiels consécutifs à une crue de la Seine en région Ile-de-France.

La perception du risque

La définition aléa × vulnérabilité s'avère insuffisante pour caractériser le risque. D'autres éléments du contexte nuancent l'importance du risque sur le territoire, comme par exemple la temporalité (les risques sont différents dans le temps), mais également la société (les sociétés réagissent différemment au risque). L'attitude de la société et des individus face au risque dicte les grandes lignes de la gestion du risque sur le territoire, et ce à plusieurs niveaux :

- prise en compte effective du risque : la négation du risque conduit rapidement à des situations catastrophiques,
- perception du risque : le risque peut-être assumé ou non, perçu négativement (risque "masqué") ou positivement (actions de prévention, de protection, etc.),
- gestion de crise : mise en œuvre de mesures d'urgence, capacité de réaction et de réparation.

Dans ce chapitre, nous définirons et illustrerons la perception du risque par les populations. Dans un second temps, nous formaliserons mathématiquement cette notion au travers des concepts d'utilité et d'aversion au risque.

La perception du risque

Définition

La perception du risque est une notion autrement différente que celle définie scientifiquement comme un savant mélange des notions d'aléa et de vulnérabilité. La perception du risque correspond à l'interprétation "technique" et psychologique du risque que chaque individu formule intérieurement. Elle est en quelque sorte une intuition personnelle du risque, fondée sur l'appréhension, la connaissance et les enjeux du risque [7].

La perception du risque est à l'origine de la construction sociale du risque. Elle évalue l'"acceptabilité individuelle et sociale" du risque [71]. La Formule 13 donne une quantification possible de la perception du risque.

$$\text{risque perçu} = \frac{\text{danger craint}}{\text{bénéfice attendu} \times \text{connaissance du danger}}$$

Formule 13 : expression de la perception du risque (source : [19])

Une valeur faible dénotera une faible crainte ou "aversion" au risque.

Illustrations

Voici trois exemples de risques de transport et la manière dont ils sont perçus par les populations [19].

- **le transport en avion**

- les accidents d'avion sont souvent spectaculaires et d'une gravité extrême : le danger craint est important,
- le bénéfice retiré d'un voyage en avion est très important en regard de la commodité et de la vitesse du moyen de transport,
- la connaissance du danger est également très importante, en raison de la médiatisation systématique des catastrophes aériennes.

Le risque lié aux transports en avion est ainsi perçu comme faible. Pour preuve : un accident d'avion ne dissuade pas les gens d'arrêter de fréquenter les aéroports.

- **le transport d'essence**

- les accidents de citernes d'essence ou de G.P.L. sont d'une gravité toute relative qui est notamment fonction de la localisation même de l'accident (ville/campagne),
- le bénéfice attendu de cette activité est très grand puisqu'il consiste à approvisionner les populations en carburant automobile,
- la connaissance du danger est toute relative, à l'image de la médiatisation des accidents de ce type.

Ainsi, le risque lié aux transports d'essence est également perçu comme faible. Pour preuve : un grave accident de camion-citerne ne conduit jamais les automobilistes à renoncer aux avantages du transport en voiture.

- **le transport de chlore**

- les accidents de citernes de chlore sont de gravité comparable aux accidents de citernes d'essence,
- en revanche, le bénéfice attendu du chlore est considéré comme quasiment nul par les populations, car elles ne ressentent pas l'utilité directe de cette matière,
- enfin, la connaissance du danger lié au transport du chlore est très relative car moyennement médiatisée.

De fait, le risque associé est perçu comme beaucoup plus important que les deux exemples précédents, notamment en raison du jugement de son utilité, biaisé par les populations. Une catastrophe provoquée par un accident de citerne de chlore provoquerait sans doute des réactions vives du public. Malgré tout, le transport du chlore présente moins de dangers – statistiquement – qu'un transport d'essence ou de G.P.L.

La perception du risque représente ainsi une composante importante dans une étude raisonnée de risques. Elle est un facteur crucial, fluctuant et très peu connu de la vulnérabilité. Aujourd'hui, de nombreuses recherches sont effectuées afin de mieux cerner la perception du risque, ses composantes, sa quantification et sa disparité spatio-temporelle & sociale.

Les facteurs de perception du risque

La perception plus ou moins aiguë du risque par les populations s'explique par un certain nombre de facteurs (cf Tableau 32). L'influence des modalités de ces facteurs sur la perception du risque est susceptible de varier fortement d'une culture à une autre [27].

Facteur	Modalité augmentant la perception	Modalité diminuant la perception
Potentiel catastrophique	Concentration dans le temps et l'espace	Dispersion spatio-temporelle
Familiarité	Non familier	Familier
Compréhension	Incompréhensible	Compréhensible
Incertitude	Incertitude scientifique	Certitude scientifique
Contrôle personnel	Incontrôlable	Contrôlable
Volonté d'exposition	Involontaire	Volontaire
Effets sur les enfants	Fort	Faible
Date des effets	Effets dilués	Effets immédiats
Effets sur les générations futures	Effets prévus	Effets non prévus
Identification des victimes	Victimes identifiées	Victimes statistiques
Terreur	Effets terrifiants	Effets non terrifiants
Effort des institutions	Institutions absentes	Institutions engagées
Médiatisation	Forte	Faible
Historique de l'accident	Fréquent	Rare ou inconnu
Équité	Impacts inéquitables	Impacts équitables
Bénéfices	Bénéfices inconnus	Bénéfices perçus
Réversibilité	Impacts irréversibles	Impacts réversibles
Implication personnelle	Forte	Faible
Origine	Bien attribuée	Incertaine (hasard)

Tableau 32 : facteurs qui influencent la perception des catastrophes (source : [27])

Par ailleurs, l'intensité de la perception du risque diminue de façon non linéaire en fonction de la distance et du temps (cf Figure 25).

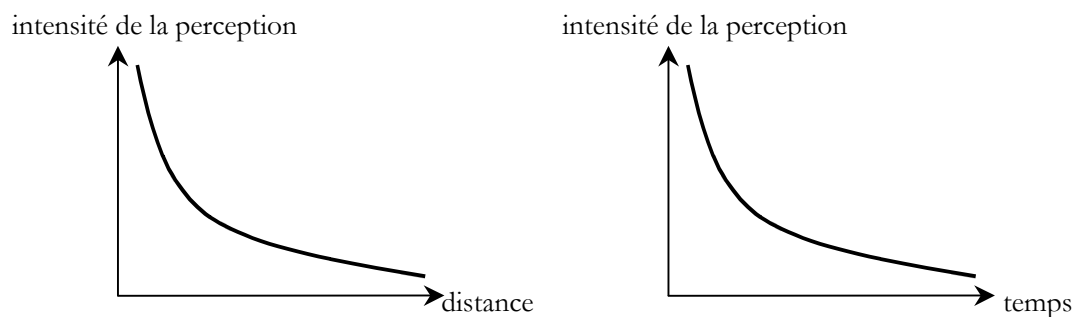


Figure 25 : décroissance de la distance en fonction du temps et de la distance (source : [27])

Utilité et aversion au risque

Ces quelques lignes présentent ici le concept d'«utilité», formalisant la notion d'aversion au risque, ressentie différemment selon les personnes [78]. Elles ont pour ambition de démontrer comment des enjeux importants peuvent modifier l'appréhension courante du risque évaluée à partir d'une simple espérance des gains (ou, symétriquement, des dommages).

La règle des paris de Pascal (ou règle de Pascal-Fermat)

Dans son *Traité du triangle arithmétique* (1654), Pascal définit mathématiquement l'espérance de gain associé à un jeu aléatoire. Pour n événements élémentaires possibles auxquels sont associés les gains x_i et les probabilités de gain p_i , l'espérance de gain vaut :

$$E(G) = \sum_{i=1}^n p_i \times x_i$$

Formule 14 : espérance de gain pour un jeu aléatoire (source : [78])

Pascal définit alors le principe de jeu équitable : lors d'un jeu aléatoire confrontant deux personnes, si la partie s'arrête en cours de route (pour une raison extérieure), alors le partage des mises restantes doit être équitable et, pour cela, s'effectuer selon les espérances de gain respectives des deux joueurs.

Le paradoxe de Saint-Petersbourg et la notion d'utilité

Nicolas Bernoulli expérimente un jeu auprès une population de joueurs et constate que ceux-ci ne se comportent pas selon la règle de Pascal. Il en fait part à son ami Raymond de Montmort dans sa lettre du 9 septembre 1713.

Principe du jeu

Nicolas Bernoulli demande à chaque joueur combien de ducats il est prêt à payer pour jouer au jeu de pile ou face suivant :

- le joueur choisit une fois pour toute "pile" ou "face",
- une pièce est lancée jusqu'à ce que le choix du joueur se réalise,
- si l'on note n le nombre de lancers effectués, le gain du joueur est de 2^{n-1} ducats.

Selon la règle de Pascal, l'espérance de gain d'un tel jeu est infinie :

$$E(G) = \frac{1}{2^1} \times 2^0 + \frac{1}{2^2} \times 2^1 + \dots + \frac{1}{2^n} \times 2^{n-1} + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} 2^{-(i+1)} \times 2^i = +\infty$$

Formule 15 : espérance de gain pour le jeu de pile ou face de N. Bernoulli (source : [78])

Mais en pratique, aucun joueur n'est prêt à verser plus de 20 ducats !

La règle de l'utilité espérée

En 1738, Daniel Bernoulli explique ce paradoxe par la règle de l'utilité espérée.

Cette investigation constitue la 1^{ère} expérimentation sur la notion de décision. Elle se propose de comprendre le comportement des gens au lieu de chercher des règles de justice. De fait, la règle de PASCAL avait pour but premier d'effectuer un partage équitable des gains :

- pour le cas où le jeu s'arrêterait inopinément,
- avec des mises en jeu relativement petites.

Dans le jeu que propose Nicolas Bernoulli, les gains sont d'autant plus colossaux que leur probabilité d'être attribués est faible. Intuitivement, le problème n'est plus "linéaire" dans la perception des joueurs : ainsi, pour modéliser leur comportement, Daniel Bernoulli définit une fonction d'utilité.

Si l'on note U l'utilité du joueur (conceptuellement, le joueur cherche à maximiser son utilité) et \mathcal{W} sa fortune, on peut considérer que :

- l'utilité augmente en proportion d'autant plus que la fortune est faible, c'est-à-dire : $dU \propto \frac{1}{W}$ ("les pauvres sont plus sensibles aux gains d'argent"),
- l'utilité augmente de pair avec la fortune, c'est-à-dire : $dU \propto k \times dW$ ("les rentrées d'argent satisfont tout le monde, riches ou pauvres").

Par conséquent, dU est de la forme : $dU \propto \frac{dW}{W}$, soit : $U(W) = \ln \frac{W}{\alpha}$ où l'on a choisi de normaliser U par le "patrimoine psychologique" noté α et correspondant à la fortune initiale. Ainsi, $W = \alpha + dW$ et U s'exprime selon la Formule 16. La Figure 26 donne l'allure de la fonction d'utilité U relativement à la fortune W .

$$U(W) = \ln \left[1 + \frac{dW}{\alpha} \right]$$

Formule 16 : expression de l'utilité sous deux hypothèses faibles (source : [78])

Cette équation représente en définitive la façon dont est déformée la métrique monétaire en métrique psychologique.

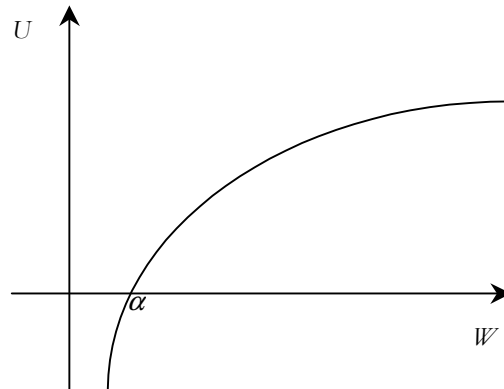


Figure 26 : allure de la fonction d'utilité (source : [78])

Application au paradoxe de Saint-Petersbourg

V représentant l'équivalent monétaire du jeu (c'est-à-dire l'"espérance de gain" dans la métrique "utilité"), il est tel que :

$$\ln \left[1 + \frac{V}{\alpha} \right] = \frac{1}{2^1} \times \ln \left[1 + \frac{2^0}{\alpha} \right] + \frac{1}{2^2} \times \ln \left[1 + \frac{2^1}{\alpha} \right] + \dots + \frac{1}{2^n} \times \ln \left[1 + \frac{2^{n-1}}{\alpha} \right] + \dots$$

soit : $\alpha + V = (\alpha + 2^0)^{1/2^1} \times (\alpha + 2^1)^{1/2^2} \times \dots \times (\alpha + 2^{n-1})^{1/2^n} \times \dots$

Formule 17 : équivalent monétaire du jeu de pile ou face de N. Bernoulli (source : [78])

En définitive, on obtient des résultats plus cohérents :

valeur de α	valeur calculée de V
0	2
100	4
“très grand”	20

Tableau 33 : exemples d'équivalents monétaires pour différents patrimoines psychologiques dans le cadre du jeu de pile ou face de Nicolas Bernoulli (source : [78])

Introduction à la théorie newmanienne de l'utilité et évaluation des loteries

La règle de l'utilité espérée s'inscrit plus largement dans la théorie newmanienne de l'utilité dont voici les grandes lignes [78].

Définition d'une loterie

Pour un ensemble fini de n événements possibles (x_1, x_2, \dots, x_n) , une loterie L est un tirage aléatoire conduisant exclusivement à l'un des événements donnés, conformément à des probabilités (p_1, p_2, \dots, p_n) : L

est donc caractérisée par le $2n$ -uplet $(x_1, p_1, x_2, p_2, \dots, x_n, p_n)$ où $\sum_{i=1}^n p_i = 1$.

Hypothèses

- L'ensemble des loteries L est muni d'un préordre complet (la relation “est préférée à” est symbolisée par \prec , elle est réflexive et transitive).
- La composition de loteries à stades multiples peut se ramener à une loterie à stade unique (on entend par “loterie à stades multiples” une loterie à “tiroirs”, c'est-à-dire pouvant conduire à d'autres loteries).
- Propriété archimédéenne :

$$L_1 \prec L_2 \prec L_3 \Rightarrow \exists \lambda / L_2 \prec \lambda \times L_3 + (1 - \lambda) \times L_1$$

Formule 18 : propriété archimédéenne des loteries (source : [78])

Sous les hypothèses 1, 2 et 3, le score U – fonction d'utilité que l'on associe aux loteries – est continu, monotone et croissant :

$$L_1 \prec L_2 \Rightarrow U(L_1) \leq U(L_2)$$

Formule 19 : monotonie de la fonction d'utilité (source : [78])

- Hypothèse supplémentaire : axiome d'indépendance

$$L_1 \prec L_2 \Leftrightarrow \alpha \times L_1 + (1 - \alpha) \times L_3 \prec \alpha \times L_2 + (1 - \alpha) \times L_3$$

Formule 20 : axiome d'indépendance des loteries (source : [78])

autrement dit, les événements se produisent de manière disjointe : il n'y a pas de complémentarité en matière de risques.

Théorème de l'utilité espérée

Sous les hypothèses 1 à 4, on peut vérifier le théorème de l'utilité espérée de Von Neumann :

$$\text{Pour } L = (x_1, p_1, x_2, p_2, \dots, x_n, p_n), \text{ on a : } U(L) = \sum_{i=1}^n p_i \times U(x_i, 1) = \sum_{i=1}^n p_i \times U(x_i)$$

Formule 21 : théorème de l'utilité espérée de Von Neumann (source : [78])

où $U(\cdot)$ est la restriction de $U(\cdot, \cdot)$ aux loteries dégénérées (c'est-à-dire conduisant à un seul événement x_i ou autrement dit, telles qu'il existe un p_i égal à 1).

Application directe

On considère les 3 possibilités de gain : $\{x_1=0$ unité, $x_2=10$ unités et $x_3=50$ unités $\}$, associées respectivement aux loteries dégénérées D_1 , D_2 et D_3 . De par les hypothèses présentées plus haut, toute loterie L peut être une combinaison linéaire convexe des loteries L_1 (la moins désirée) et L_3 (la plus désirée). Le facteur λ associé représente alors l'utilité. Les courbes d'iso-utilité sont alors des droites parallèles dont la pente augmente avec l'aversion au risque, comme nous allons le voir.

En pratique, on demande à un joueur de choisir entre les deux loteries suivantes :

$$L_1 \rightarrow \text{gain } x_2 \text{ (10 unités) à 100\% et } L_2 \rightarrow \begin{cases} \text{gain } x_1 \text{ (0 unité) à 1\%} \\ \text{gain } x_2 \text{ (10 unités) à 89\% ,} \\ \text{gain } x_3 \text{ (50 unités) à 10\%} \end{cases}$$

puis entre les deux loteries suivantes :

$$L'_1 \rightarrow \begin{cases} \text{gain } x_1 \text{ (0 unité) à 89\%} \\ \text{gain } x_2 \text{ (10 unités) à 11\%} \end{cases} \text{ et } L'_2 \rightarrow \begin{cases} \text{gain } x_1 \text{ (0 unité) à 90\%} \\ \text{gain } x_3 \text{ (50 unités) à 10\%} \end{cases}$$

On ne demande pas au joueur de formuler la manière dont il définit son utilité U (maximisation de l'espérance de gain, maximisation du nombre de situations gagnantes, etc.), mais d'effectuer ses 2 choix indépendamment.

Ceux-ci peuvent être représentés dans le plan, comme combinaison linéaire des loteries dégénérées D_1 et D_3 , conformément à la Figure 27.

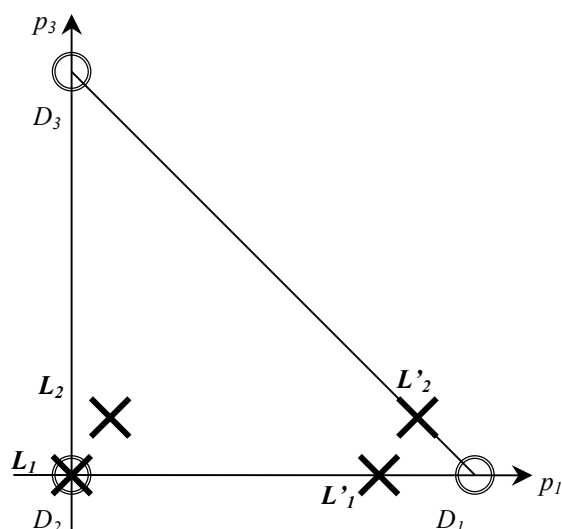


Figure 27 : représentation des différentes loteries dans le plan des 3 loteries dégénérées D_1 , D_2 et D_3 (source : [78])

- Selon la fonction d'utilité employée implicitement par le joueur et, par conséquent, selon son degré d'aversion au risque,
 - et compte-tenu du fait que les segments $[L_1, L_2]$ et $[L'_1, L'_2]$ sont parallèles,
- la logique veut que le joueur choisisse de pair soit les loteries L_1 et L'_1 (forte aversion au risque – partie gauche de la Figure 28), soit les loteries L_2 et L'_2 (faible aversion au risque – partie droite de la Figure 28).

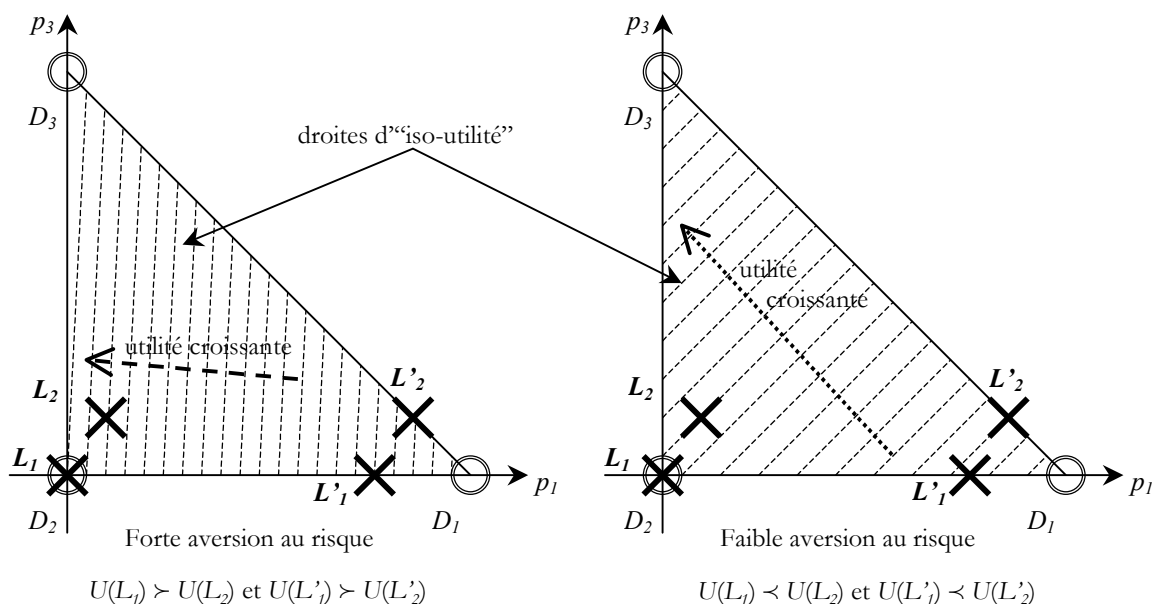


Figure 28 : comparaison des degrés d'aversion au risque du joueur selon 2 scénarios (forte / faible aversion) (source : [78])

Il est donc bien entendu que ce choix dépend de la fonction d'utilité du joueur (de son aversion "ressentie" pour le risque) et que par conséquent, il n'y a pas de "meilleur choix" dans l'absolu. Cependant, il peut arriver que certains joueurs soient incohérents avec eux-mêmes et fassent des choix contradictoires en termes d'utilité (choix combinés de L_1 et L'_2 ou de L_2 et L'_1). Cet exemple expérimental est appelé "paradoxe d'Allais". Cet état de fait remet en cause les hypothèses échauffées sur les loteries et montre que l'appréhension du risque par les populations est un concept délicat à modéliser...

Application aux problèmes de décision liée au risque

Couramment, la fonction d'utilité employée par les décideurs revient à maximiser l'espérance des gains (ou, cela revient au même, à minimiser l'espérance des dommages). Mais un tel choix est loin d'être la panacée, car il considère les événements au prorata de leur probabilité d'occurrence. Afin d'étayer notre raisonnement, il faut considérer que :

- d'une part, il existe des "effets de bord" : par exemple, les assureurs ne prennent jamais en compte dans leurs calculs l'éventualité d'une guerre, de même que les aménageurs n'envisagent jamais la chute d'une météorite ! Le choix de l'espérance réduit de beaucoup l'information et supprime toute considération stratégique qui consisterait à "assurer" en retenant les solutions globalement meilleures en nombre de cas favorables (et non en moyenne de gains attendus) ;
- d'autre part, choisir d'exprimer son utilité comme une espérance revient à appliquer la loi des grands nombres, donc à considérer que l'expérience (le jeu, le phénomène...) peut-être répété un grand nombre de fois, ce qui n'est pas forcément le cas.

Afin de confronter votre aversion au risque avec les considérations matérielles consistant en un simple calcul d'espérance de gain, à quel jeu choisiriez-vous plutôt de jouer parmi les deux proposés sur la Figure 29 ?

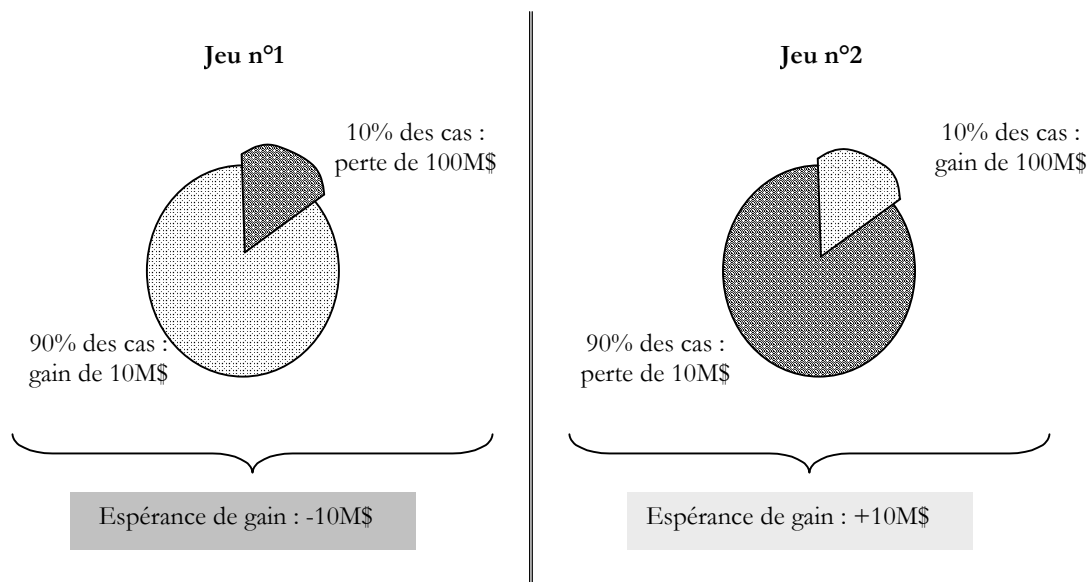


Figure 29 : deux jeux pour tester l'aversion au risque

Vues les sommes mises en jeu, de nombreuses personnes choisiront d'"assurer" un gain de 10 M\$ (jeu n°1) plutôt que de s'hasarder à gagner 100 M\$ à 1 chance sur 10 (jeu n°2)... en dépit des espérances comparées (dans le cas où l'on ne peut jouer qu'une fois) ! Dans ce cas, l'aversion au risque est élevée, notamment parce que les enjeux sont importants.

Éducation, culture et mémoire du risque

Ainsi que nous venons de le voir dans le chapitre précédent, la perception du risque par les individus explique l'attitude de la société face au risque, c'est-à-dire son sentiment sur la menace qu'il semble représenter et sa plus ou moins grande aversion en fonction de cette menace, de l'utilité retirée de l'activité à risque et de la connaissance même du risque.

De fait, les pouvoirs disposent d'un levier de manœuvre pour la réduction du risque en sensibilisant les populations au phénomène.

Cette action d'éducation s'inscrit plus largement dans le contexte culturel et historique du risque, relatif à la mémoire du territoire et des populations.

L'éducation au risque

En Ile-de-France, les dossiers avancent péniblement suite aux oppositions d'associations concernant l'instauration de P.P.R. pour les communes des bords de Marne ou de Seine. En réalité, les retenues d'eau creusées en Champagne ne protégeraient pas la région si l'on devait faire face à une crue de type 1910. De même, les mises en garde de feux de forêt sur les bords de la Méditerranée ou les séismes à Nice font encore sourire...

De manière générale, les catastrophes, qu'elles soient naturelles ou technologiques, sont d'autant plus grave que l'homme ne s'y est pas préparé. Certes, la prévention coûte cher, au point de faire des impasses budgétaires au profit d'investissements plus rentables. Il n'est pas rare de voir des populations s'installer dans d'anciens lits de rivière, au dessus d'anciennes carrières souterraines ou trop près d'une usine. S'il existe un manque manifeste de moyens pour se protéger, le premier réflexe pour éviter les catastrophes reste encore d'"annoncer le risque" : le risque majeur et la protection de l'environnement doivent entrer dans la culture du citoyen.

État des lieux

La Délégation aux Risques Majeurs du Ministère de l'Environnement a commandé une enquête d'opinion autour des risques majeurs. Ce travail, réalisé par Anne Lalo, maître de conférence à l'Université de Grenoble, a révélé les faits suivants [73] :

De mauvais comportements

- 90% de la population reconnaît son ignorance sur les conduites à tenir en cas de risques majeurs ;
- en cas de risques industriels majeurs, les parents viennent chercher leurs enfants à l'école (au risque de pénétrer avec eux dans le nuage toxique) : ils ne font pas confiance aux enseignants tant qu'ils ne sont pas formés.

Des axes prioritaires d'éducation des populations

- La connaissance des seules consignes est insuffisante, car le citoyen pourrait ressentir que c'est à lui seul qu'on demande d'agir, alors que la société et les industriels ne font rien ;
- avant d'envisager des exercices d'alerte, il est nécessaire de passer par des étapes préalables :
 - connaissance des risques, compréhension de leur maîtrise, reconnaissance de la sirène, apprentissage des consignes (les expériences faites ont confirmé cette stratégie) ;
 - ensuite, on pourra étendre l'information vers les problèmes de pollution et de protection de l'environnement ;

- il faut adapter le message à chaque tranche d'âges : commencer dans le primaire par l'étude de l'environnement proche de l'enfant, les mesures de prévention et la connaissance des consignes, puis l'élargir dans le secondaire par des connaissances approfondies sur les risques et la protection.

Manifestement, les enseignants sont encore aujourd'hui ni suffisamment informés, ni formés aux risques majeurs.

Les 2 volets de l'éducation au risque : formation et information

L'éducation au risque auprès des populations se décompose en deux actions à entreprendre : l'information et la formation [73][95]. De coût réduit, formation et information interviennent à la fois dans la prévention des risques et la gestion de crise. En France, la formation à l'école est développée par les Ministères de l'Éducation Nationale et de l'Environnement.

L'information préventive

L'article 21 de la loi du 21 juillet 1987 stipule : "Les citoyens ont un droit à l'information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis dans certaines zones du territoire et sur les mesures de sauvegarde qui les concernent."

L'information préventive est faite en priorité dans les communes où il y a des enjeux humains (risque de victimes). Cette information portera donc d'abord sur les communes où les enjeux humains sont les plus importants, où les protections sont les plus fragiles (par exemple les campings).

L'information préventive est assurée dans chaque commune à l'aide du D.C.S. (Dossier Communal Synthétique, établi par le préfet) et du D.I.C.R.I.M. (Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs) consultables en mairie. Par ailleurs, des affiches d'information doivent être apposées dans les immeubles recevant plus de 50 personnes. Concernant les sites industriels classés SEVESO, les industriels concernés sont tenus d'informer les populations avoisinantes par des plaquettes.

Par l'information sur les risques qu'il encourt et les consignes de sauvegarde, le citoyen pourra mieux se protéger. Deux cyclones de même force ont frappé la Guadeloupe : en 1909, il y eut 1200 morts ; en 1992, le cyclone Hugo, annoncé, n'a fait que 4 victimes car les consignes étaient connues de tous.

La formation

Elle concerne :

- non seulement les acteurs du risque,
- mais aussi les professionnels impliqués quotidiennement dans la prévention (par exemple les architectes, entrepreneurs et ouvriers dont on est en droit d'attendre qu'ils soient formés à la construction para-sismique, para-cyclonique...),
- et bien entendu les enseignants afin de transmettre aux jeunes générations les connaissances et comportements nécessaires.

Deux exemples

L'Éducation Nationale

Dans le souci d'éduquer les élèves aux risques [93], le Ministère de l'Éducation Nationale a mis au point une mallette pédagogique regroupant 20 livrets (un par type de risque), des diapositives et des cassettes audio/vidéo. La formation des enseignants est assurée par une équipe de formateurs constituée dans chaque académie.

Ce programme s'étale sur 5 ans et concerne 5000 communes à risques. Sa mise en place dans chaque commune est initiée par la décision du préfet et du maire de lancer une campagne d'information préventive générale. Certains établissements scolaires n'ont pas attendu pour entreprendre les démarches : développement de P.A.E., recherches, stages de formation des enseignants de l'établissement, développement d'actions éducatives et d'outils de communication, etc.

La Prévention Routière

Selon l'article 1 des statuts de l'association [30], "la Prévention Routière a pour but d'étudier et de mettre en oeuvre toutes mesures et d'encourager toutes initiatives propres à réduire la fréquence et la gravité des accidents de la circulation routière..."

La Prévention Routière a été créée en 1949 à l'initiative des assurances sous forme d'association loi 1901. Reconnue d'utilité publique en 1955, son premier objectif reste une route plus sûre et plus conviviale en modifiant les comportements des usagers. De fait, l'action de l'association se concentre sur l'éducation, la formation et l'information des enfants et adolescents. Concrètement, elle se traduit par des opérations de sensibilisation, des distributions de livrets et de cassettes d'information, des stages théoriques ou pratiques, etc. La Prévention Routière possède également un département "études et recherches" dont le rôle est de trouver et de valider des solutions pertinentes qui permettront de diminuer le nombre d'accidents de la route.

Synthèse

Formation et information sont indispensables à la fois pour la prévention des risques et la gestion de crise. Le Tableau 34 donne un résumé des différents aspects de la sensibilisation de la population (éducation, formation, réglementations et techniques d'information).

FORMATION INFORMATION	FORMATION	MILIEUX PROFESSIONNELS	Sensibilisation, formation des techniciens
		SYSTEME EDUCATIF	Sensibilisation, formation des enseignants
	INFORMATION PREVENTIVE	INFORMATION DES RESPONSABLES ET CITOYENS	PREFECTURE : dossier synthétique
			MAIRIE : dossier d'information pour le citoyen CITOYEN : affiches dans les lieux publics, plaquettes

Tableau 34 : la démarche de la formation et de l'information préventive autour des risques (source : [73])

Il s'agit pour les autorités de dépasser les comportements individualistes, en premier lieu par la diffusion de l'information. Les informations ne circulent pas parce que les comportements sont régis par l'économétrie : il faut agir sur la législation ou les incitations économiques.

Ce constat suggère de réviser les questions autrement, comme par exemple la communication, la culture du risque (une notion ambitieuse) ou la démocratie locale.

Culture et mémoire du risque

Quels sont les **processus sociaux** par lesquels le risque se construit ?

Cette question appréhende le risque dans son actualité en raisonnant à la fois par **réminiscences** (mémoire collective, leçons du passé) et par **projections** (actions à entreprendre, évolution des mentalités).

Elle soulève notamment l'importance :

- de la **dimension locale du risque** : problématique du local, territoire perçu comme un espace socialisé ayant sa propre histoire, sa spécificité et ses particularismes locaux,
- de la **dimension territoriale du risque** : gestion des risques.

La construction du risque est ainsi contrainte :

- par le contexte socio-économique des territoires et des populations,
- par la mémoire entretenue par les populations,
- par l'exploitation des données historiques, nécessaires pour étendre la connaissance du risque à des périodes plus grandes.

Culture et aspects sociologiques du risque

Inondations et conséquences dommageables sont toujours associées dans l'esprit des populations. Cette confusion résulte d'une part d'impasses et de filtres sur l'information, d'autre part de politiques foncières favorisant les gains à court terme et ainsi l'urbanisation sur des zones particulièrement "vulnérables" (au sens littéraire du terme) aux inondations.

Les réglementations à portée préventive sont surtout coercitives. La clef de la réduction des dommages réside dans le changement des comportements en matière de foncier.

Au-delà, les connaissances en matière de protections existantes (digues, barrages) semblent être réduites. Les collectivités et les populations ont parfois l'air d'ignorer le risque que ces structures induisent (possibilité de ruptures, aggravation de la vulnérabilité).

“Dans un tel contexte, la société est ballottée, et passe alternativement d'un oubli confirmé (quand la dernière inondation est loin), à une fixation subjective (sur l'inondation qui vient de se produire) guère plus efficace, avec en permanence une tendance forte à ignorer ou contourner les règles contraignantes [imposées par la réglementation].” [81]

Par ailleurs, l'individu ne supporte pas le risque pour lequel il n'a aucune responsabilité quant à sa survenance, et encore moins s'il est convaincu que la négligence d'autrui a contribué à la réalisation de ce risque. De fait, les accidents domestiques (20000 victimes/an) et les accidents de la route (9000 victimes/an) émeuvent peu en regard des catastrophes naturelles.

La mémoire du risque

Autrefois, une catastrophe naturelle en montagne (avalanche, crue torrentielle) n'émouvait pas les populations comme aujourd'hui. Habitues à modifier leurs habitudes de vie quelque temps, elles transmettaient la mémoire du risque de génération en génération. Aujourd'hui, la mémoire s'estompe, l'homme ignore le danger et s'offusque lorsque la catastrophe survient. La mémoire locale s'est transformée en savoir technique auprès des services professionnels (locaux, administratifs, scientifiques) [40].

La mémoire du risque est fragile. Son absence même peut faire courir de très graves dangers, comme par exemple lorsque l'homme aménage de nouveaux sites skiables sur des sites jamais fréquentés auparavant.

La mémoire du risque est évolutive. Des catastrophes survenues dans le passé et ayant peu marqué les mémoires peuvent se révéler redoutables si elles se produisent à nouveau alors que l'urbanisation (donc la vulnérabilité) a progressé.

La mémoire nécessite donc d'être organisée, notamment par recueils, validations, agencements, mises à jour, archivage des informations, etc. [40]

Cependant, la mémoire du risque reste inéluctablement menacée d'oubli. En s'estompant très rapidement, elle provoque [21] :

- des attitudes de “défi” de la part de populations négligeant des risques qui se sont pourtant produits à plusieurs reprises dans le passé,
- une surestimation des “catastrophes” actuelles suscitant de vives émotions parmi les personnes sinistrées.

Exemples :

- les inondations dans l'Aude à la mi-novembre 1999 ont emporté plusieurs maisons de lotissements situés par expérience en zone inondable ;
- les tempêtes qui ont touché la France en décembre 1999 et ont coûté la vie de 80 personnes et près de 4 milliards de francs ont été qualifiées d'«historiques» en dépit :
 - de la tempête des 15 et 16 octobre 1987 : tempête «séculaire» de la Bretagne ayant fait 4 morts et privé 100000 foyers d'électricité,
 - des 5 tempêtes de l'hiver 1989-1990 : 80 morts et notamment 8 millions d'arbres abattus (dégâts comparables à ceux du Massif Central en 1982 et de la Bretagne en 1987).

La part des informations historiques

Dans la nébuleuse des souvenirs des autochtones, des témoignages des personnes sinistrées et des documents d'archives plus ou moins bien renseignés, les données historiques émergent enfin. Il ne faut cependant pas tomber dans l'«intégrisme» des données historiques : celles-ci ne constituent en effet qu'un outil complémentaire («elles sont utiles mais pas exclusives»). Dans leur rôle d'appui pour l'étude des risques, elles apparaissent souvent «désordonnées» : cela est dû à l'aspect pluridisciplinaire du risque.

Les informations historiques ont une importance fondamentale, car la prise de conscience de l'existence de risques repose d'abord sur la mémoire collective de catastrophes passées. Les archives historiques alimentent ainsi la connaissance des phénomènes extrêmes, en émettant cependant des réserves sur la qualité des données recueillies.

L'expérience acquise au fil des siècles a permis, par exemple, de développer des outils de surveillance des cours d'eau, de réaliser des aménagements forestiers prévenant la propagation des feux de forêt, de mettre en œuvre des systèmes de retenue des neiges en montagne, etc. Ainsi, qu'il s'agisse de prévention, de prévision ou de gestion de risques, comme pour toute investigation scientifique, ce sont les observations expérimentales qui ont amélioré la connaissance et la maîtrise des phénomènes à divers échelons. Les modèles d'analyse de risques élaborés sont eux-mêmes alimentés par les données historiques, malgré le poids somme toute relatif que l'on peut leur accorder.

Aussi, nous proposons dans ce paragraphe de nous attarder sur la structure, la qualité et la pertinence de l'intégration des informations historiques aux études de risques [21].

L'histoire des risques peut se décomposer en 3 parties :

- la représentation c'est-à-dire les interprétations des phénomènes naturels et de leurs manifestations catastrophiques : la connaissance du contexte culturel des événements est indispensable pour juger la qualité des informations recueillies, bien souvent biaisées par l'anthropocentrisme des témoignages ;
- l'histoire de l'aménagement : liée aux objectifs de production de territoire et reléguant de ce fait les problèmes associés aux phénomènes naturels, mais également liée aux infrastructures et en ce sens indissociable des opérations de suivi et d'archivage lorsqu'il s'agit, par exemple, d'hydrologie ;
- l'histoire des crises d'origine naturelle, mais celle-ci est peu étudiée, sinon sous ses aspects épidémiologiques et sanitaires.

Les deux exemples suivant reflètent bien **la part très fluctuante de l'information historique au sein des études de risques.**

- Dans le cas de la connaissance des crues d'un fleuve, l'utilisation des données d'archives passe par :
 - le recueil et la critique des données, autrement dit le rassemblement des données et l'étude de leur cohérence,
 - la reconstitution des crues extrêmes par l'étude des événements les plus significatifs et de l'histoire des aménagements, afin de convertir hauteurs de crues en débits.

Par ailleurs, les précisions planimétrique et altimétrique sont contraintes par la localisation relative des phénomènes.

- Dans un autre registre, la connaissance des avalanches par l'exploitation des archives est beaucoup plus imprécise (qualité moins bonne et fréquence moindre des observations passées). Le rattachement des archives aux observations actuelles n'est pas complètement réalisé ; par ailleurs, un phénomène

géoréférencé sera rarement décrit dans le détail (type d'avalanche, périmètre maximal d'extension, etc.).

D'une manière plus générale, **l'intégration des données d'archives** doit se concevoir comme un élargissement de la fenêtre chronologique d'observation et non comme une opération de collecte d'informations s'étalant du passé jusqu'à aujourd'hui. Elle nécessite de ce fait un travail d'harmonisation des documents. La recherche se cantonne ainsi aux deux siècles passés, correspondant par ailleurs à un foisonnement de données et des modes de représentation exploitables.

La qualité des données d'archives constitue également un point délicat. L'enquête historique doit permettre de rapprocher les données extraites d'un passé plus ou moins lointain aux données actuelles afin d'enrichir les sources d'information. Il ne faut pas perdre de vue l'écueil consistant à donner aveuglément d'autant plus de pouvoir aux archives que les hypothèses scientifiques ne sauront être validées. La mémoire collective fluctue beaucoup entre oubli et déformation et nécessite ainsi la définition d'un cadre méthodologique pouvant garantir le caractère scientifique des données d'archives.

En définitive, la contribution première des informations historiques à l'analyse des risques s'inscrit à la fois dans une meilleure connaissance de la vulnérabilité des espaces et des fréquences de survenance des phénomènes (aléa). Cette intégration doit notamment prendre en compte la précision et la crédibilité des informations en les replaçant dans le contexte des événements relatés.

Aspects administratifs et réglementaires des risques

La décennie 1990-2000 avait été qualifiée par l'Organisation des Nations Unies de décennie internationale pour la prévention des catastrophes naturelles. Cette déclaration sous-tendait l'idée que les catastrophes naturelles ne sont pas une fatalité et que les efforts doivent converger vers la prévention et non la réparation : "mieux vaut prévenir que guérir".

Cette prise de conscience accrue des risques (naturels, mais également anthropiques) dans nos sociétés nécessite une structure organisationnelle et légale conséquente, afin de mener à bien les missions d'identification, d'évaluation, de prévention et de prévision du risque, de gestion de crise et de réparation.

Pour illustration, les actions du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement se positionnent largement autour de ces différents volets.

- **Préoccupation autour des enjeux :**
 - la sécurité des personnes et des biens,
 - la préservation des espaces et de l'environnement,
 - l'aménagement du territoire et le développement durable,
 - l'augmentation des dommages et des indemnités,
 - la responsabilité de l'État et des collectivités.
- **Actions et efforts sur :**
 - la connaissance (cartographie, identification de l'aléa et de la vulnérabilité),
 - le suivi et la surveillance (surveillance des risques naturels, par exemple par radars, sismographes, etc. et maîtrise des phénomènes à la source pour les risques technologiques),
 - l'information préventive des élus et de la population (culture du risque, partage de la connaissance),
 - la prise en compte du risque dans l'aménagement (procédures d'urbanisme, P.P.R.),
 - les mesures de réduction du risque et d'atténuation des dommages,
 - le retour d'expérience (grâce aux missions envoyées sur les lieux après la catastrophe),
 - la préparation de la crise (avec les services de secours et le Ministère de l'Intérieur).
- **Quatre questions fondamentales dans différents domaines :**
 - Scientifique : Comment faire bon usage du principe de précaution à partir des connaissances actuelles ?
 - Politique : Quelle parts de participation dans la prise de décision ? Quel mode de concertation entre les acteurs pour négocier le risque ?
 - Juridique : Quels nouveaux outils faut-il élaborer ?
 - Économique : Quels sont les moyens financiers incitatifs pour parvenir aux objectifs ?

La négociation du risque

La prise en considération du risque par les autorités commence par l'étape d'identification et d'évaluation du risque, réalisées par des experts et soumises aux différents acteurs du risque au cours d'une négociation. Dans ce sous-chapitre, nous proposons d'analyser les rapports de force entre les acteurs (pouvoirs, experts, opérateurs, populations, juges, médias) et les difficultés de répartition des compétences et des responsabilités qui en découlent.

La confrontation entre l'expertise du scientifique et le pouvoir du décideur

Cet aspect a été partiellement évoqué dans le chapitre consacré à la notion de risque, sous l'intitulé "Le scientifique et le politique au cœur de la décision". Au-delà de l'analyse du passage de l'expertise à la décision, nous souhaitons ici aborder plus en détail les domaines de compétence du scientifique et du décideur, ainsi que la difficile délimitation de leurs responsabilités respectives [98].

Pendant longtemps, les politiques n’avaient de relation avec les scientifiques que pour des questions d’images, de la même manière qu’avec les artistes.

Par la suite, les politiques ont pris conscience de l’importance stratégique (notamment dans le domaine militaire) des découvertes scientifiques, tandis que les scientifiques faisaient appel aux pouvoirs publics pour financer leurs recherches.

Aujourd’hui, les politiques auraient trop tendance à s’appuyer sur les experts pour mener leur politique et décharger sur eux leurs responsabilités. Cette manière de procéder n’est pas acceptable : l’expert réalise une étude à valeur d’avis, à partir duquel le politique prend sa décision. La question que doit se poser le scientifique n’est pas “qu’est-ce que je dois faire”, mais “quel est le risque si, moi politique, je ne fais rien”.

Tandis que les scientifiques exigent des délais – parfois très longs – avant de donner un avis, les politiques sont contraints de prendre des décisions immédiatement si les problèmes de santé ou de société l’exigent. Parce qu’ils participent au processus de décision, on voit de plus en plus de scientifiques poursuivis en justice pour n’avoir pas prévu tel risque à temps. Dans la mesure où le travail du scientifique est valable (c’est-à-dire dans la mesure où “il a fait tout ce qu’il fallait [sans commettre] aucune négligence” – les Anglais appellent cela le “due diligence”), il ne devrait pas être mis en cause. Cela nierait pas ailleurs le fondement même du travail scientifique : l’erreur est le moteur du travail de recherche et permet d’échafauder la théorie scientifique par remises en question successives et formulation de nouvelles hypothèses. En définitive, tout le système conduit à ne jamais écarter l’éventualité du risque (on rejoint en cela le principe de précaution).

Le chercheur est soumis à la compétition, à la course à la publication que lui impose son milieu, mais il reste cependant libre d’organiser ses recherches selon ses hypothèses et en exploitant tout ou partie des résultats publiés par ailleurs. En revanche, l’expert est obligé de tenir compte de toutes les découvertes relatives au domaine qu’il étudie afin de donner un avis prenant en compte l’état de l’art de toutes les connaissances. En ce sens, Southwood, patron de la 1^{ère} commission britannique sur l’E.S.B., a fait une faute en négligeant à l’époque de tenir compte des résultats d’un chercheur américain émettant l’hypothèse d’une transmission à l’homme de l’E.S.B. par le prion...

Compétences et responsabilités dans le domaine des risques

Le risque d’inondations prend une forme très complexe, tant au niveau des territoires sur lequel il se manifeste qu’au niveau des mesures de prévention et de protection qu’il exige. Les acteurs et les responsabilités associés sont par conséquent très variés, ainsi que nous le détaillons dans les lignes qui suivent.

L’espace complexe du risque-inondation et la difficile répartition des responsabilités associées

L’eau : une ressource hétérogène

La ressource “eau” est très délicate à évaluer en général, puisqu’elle peut être aussi bien associée à un kilowatt d’hydro-électricité dont on connaît précisément le prix, qu’à un paysage pour lequel la valeur reste incalculable [28].

Les territoires, facteurs d’hétérogénéité

A tous les niveaux, l’espace apparaît hétérogène [28] :

- **physiquement** : alternances de plaines, montagnes, vallées, etc.,
- **humainement** : dispersion de la population en zones urbaines, rurales et intermédiaires,
- **administrativement** : découpage “fractal” de l’espace, du niveau régional au niveau communal.

Cette fragmentation de l’espace est d’autant plus complexe que ces différents découpages ne se superposent pas, mais génèrent au contraire un morcellement encore plus émietté de l’espace. En

corollaire, les acteurs du territoire se multiplient, sans pour autant que tous les types de territoires soient couverts par leurs domaines de compétences.

Le risque hydrologique : multiforme

Les risques liés à l'eau peuvent prendre des formes très différentes : crue torrentielle, inondation de plaine, ruissellement urbain, etc. La complexité des phénomènes pose des difficultés dans le traitement social du risque : tandis que les inondations de plaine font l'objet d'un consensus par considération de la crue centennale – dite de “référence”, il n'existe pas de phénomènes de référence pour les crues torrentielles ou les submersions de barrage. Cette situation provoque **des solutions au cas par cas**, et pour lesquelles la négociation commence autour du choix même du scénario de référence. A ces difficultés s'ajoutent les conflits entre experts de domaines différents, l'intervention souvent parasitaire des médias et parfois même l'existence de risques en chaîne, ce qui n'a évidemment pas pour effet de faciliter le processus de décision. Cet **imbroglio de procédures techniques, scientifiques, politiques, réglementaires**, etc. noie la compréhension des phénomènes sociaux associés au risque. De manière synthétique, le traitement social du risque doit émerger en se résumant à la recherche du niveau de risque socialement acceptable [28].

Les **deux grands traitements préventifs du risque** s'attachent à diminuer chacune de ses deux composantes :

- **la réduction de l'aléa** : il s'agit de traiter le risque à la source, en contenant les flux ou au contraire en facilitant les écoulements pour ce qui est du risque d'inondation. Cette démarche se fonde sur le choix technique d'un scénario et évince de ce fait toute réflexion approfondie sur l'acceptabilité sociale des risques ;
- **la réduction de la vulnérabilité** : celle-ci consiste à réglementer les installations humaines dans les zones concernées par le risque.

Cependant, ces deux manières d'agir sur le risque et ses effets dommageables se confondent dans la mesure ou la modification d'un champ (aléa ou vulnérabilité) va immédiatement entraîner des modifications pour l'autre. La mise en évidence d'une telle relation entre aléa et vulnérabilité interdit ainsi de distinguer les responsabilités associées à l'une ou à l'autre des deux composantes du risque, comme c'est le cas pour le traitement des risques très localisés (notamment les risques industriels) [28].

Une typologie des acteurs sur les rôles sociaux, plutôt que les compétences légales

Les décideurs

Ce sont l'État, les préfets et les maires. Ils sont responsables de la prévention en termes de maîtrise de l'espace. Les articles 131-2-6 et 131-7 du code des communes exigent des **pouvoirs communaux** d'organiser la prévention des accidents naturels qui menacent la sécurité des habitants. La maire est notamment tenu de prendre en compte les prescriptions sur la construction incluses dans le P.P.R. Si la responsabilité du maire relève de la réglementation des constructions et de l'urbanisme, le rôle du préfet n'en est pas moins important : ce dernier dispose des articles R 111-3 et R 111-2 du code de l'urbanisme, il a l'initiative des P.P.R. et peut enfin se substituer aux maires “défaillants”. Pour sa part, l'État est chargé d'identifier et d'afficher les risques. L'État a par ailleurs l'initiative des réglementations sur les constructions et de la promulgation des décrets d'état de catastrophe naturelle [28][53].

L'expertise

Elle constitue l'appui scientifique et technique de la décision politique. Au départ fortement liées à l'État par l'intermédiaire des organismes publics (D.D.E., D.D.A., R.T.M., C.E.T.E., C.E.M.A.G.R.E.F.), les expertises émanent aujourd'hui de plus en plus de laboratoires de recherche parfois publics mais toujours relativement autonomes. L'avènement des expertises privées pose en particulier le problème d'impartialité quant aux intérêts scientifiques d'une part, et commerciaux d'autre part [28].

La culture déterministe, enfin, conduit la société, les médias et les juges à décharger une part de responsabilité sur les experts. Ceux-ci ne peuvent s'abriter que derrière les incertitudes liées aux connaissances sur les phénomènes, aux mesures d'instrumentation, à la définition de l'aléa, aux réglementations sur la responsabilité de l'État, etc. [53].

Les opérateurs

Ils regroupent les grands acteurs collectifs, publics ou privés, dont l'activité est impliquée dans la prévention du risque, la gestion de crise ou la réparation (Institution des Grands Lacs de Seine, E.D.F., etc.). Le rôle des opérateurs est difficile à cerner, tant au niveau des responsabilités que des actions possibles en matière de prévention. Les assurances rentrent dans la catégorie des opérateurs, bien qu'elles ne jouent pas de rôle dans les textes [28].

La population

Au-delà du mot générique de “public” dont le comportement est traduit par la notion toute aussi vague d’“opinion publique” se distinguent [28] :

- **les propriétaires riverains**, regroupés en syndicats ou associations et surtout intéressés par la valeur foncière de leur bien.

Leur responsabilité peut être engagée – par exemple contre le risque d'inondation – au niveau de la “défense contre les eaux”, c'est-à-dire des aménagements fonciers favorisant le bon écoulement des eaux (arrachage des haies, arasement des talus, comblement des fossés, entretien des cours d'eau non domaniaux, etc.). Ces actions peuvent être entreprises au sein d'une association syndicale, voire avec l'intervention des collectivités locales dans le cadre d'un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux. Cependant, les responsabilités des particuliers sont en pratique loin d'être comparables aux engagements que prennent l'État et les pouvoirs locaux [53].

- **les associations de protection de l'environnement** dont l'action ne va pas toujours dans le sens de la sécurité vis-à-vis des inondations (notamment lorsque celle-ci met en jeu des aménagements lourds),
- **le “public”**, dont la connaissance du risque est jugée très faible : il n'intervient qu'en mode réactif ou défensif, lorsqu'un règlement “abusif” est élaboré ou lorsque la catastrophe survient (en tant que victime, le public ne joue plus aucun rôle d’“acteur”).

Exemple : 21 septembre 1980, crue à Brives-Charensac (Loire – banlieue du Puy-en-Velay) où “au moment de la montée maximale des eaux, des centaines de personnes étaient massées sur les rives près du pont de Coubon, pour ne rien perdre du spectacle, et qui étaient en effet aux premières loges pour assister à la rupture du pont et à la vague de submersion qui a suivi.” Bilan : 8 morts et 40 blessés.

Ce manque de culture du risque se traduit par l'irrationalité des populations, dont la peur du risque se transforme en panique et freine les pouvoirs publics dans leur action d'information préventive (par exemple, un exercice d'alerte généralisé aux populations serait aujourd'hui impensable en France).

- **la justice**, dont le caractère “tranchant” s'accommode mal des systèmes sociaux complexes où la part des responsabilités entre les acteurs est très “diffuse”.

La recherche de responsabilités à la suite de catastrophes naturelles est confortée par la croyance selon laquelle l'homme est capable de maîtriser les éléments, et relayée par la constitution d'associations de victimes et de battages médiatiques. Les juges sont amenés à analyser les expertises et à faire la part des responsabilités entre les pouvoirs publics, les experts et les individus. En l'occurrence, la catastrophe naturelle se positionne souvent aux limites du cas de “force majeure”, que justifieraient l'intensité et le caractère imprévisible et inéluctable des phénomènes.

En l'occurrence, il est difficile de juger à partir de quels seuils un phénomène peut-être considéré comme rare et anormal. Le juge – à qui il incombe de décider de ce qui est anormal et de ce qui ne l'est pas – peut se référer aux textes de loi (la circulaire interministérielle du 24 janvier 1994 préconise la période de retour de 100 ans pour les inondations), à la jurisprudence (par exemple, une période de retour de 120 ans a été retenue pour un phénomène pluvieux) et bien sûr à l'avis des experts [53].

Un exemple : la négociation du risque d'inondation

Une protection totale au risque d'inondation est absolument irréaliste. Un aménagement de protection, aussi bon soit-il, peut de toute façon avoir des effets pervers dès qu'une catastrophe d'ampleur imprévue survient, à l'image de la spirale de l'aménagement.

En termes de protection au risque d'inondation, il existe deux échelles d'intervention [15] :

- l'échelle de la parcelle, pour laquelle la prévention du risque se traduit par des mesures et des réglementations sur la construction,
- l'échelle des bassins, pour laquelle il est utopique de vouloir annuler le risque et il devient donc indispensable d'engager une concertation entre les acteurs locaux (collectivités territoriales et acteurs économiques).

De fait, la gestion de l'aménagement du territoire dépend de composantes réglementaire et technique, mais également d'une composante "négociation" réunissant les acteurs du risque. Composante d'"équilibre", la négociation concerne la vulnérabilité au travers de la définition du risque maximal acceptable pour chaque type d'occupation du sol. Elle intègre les différents points de vue (urbains contre ruraux, aménageurs contre écologistes, amont contre aval) afin de choisir les aménagements appropriés en termes de protection des vies, des biens et des milieux.

Par exemple, la négociation autour du risque d'inondation dans la logique de la méthode *Inondabilité* (cf Annexe 1) conduit à établir un mécanisme d'échange de protection : il s'agit de redistribuer les surprotections aux parcelles sous-protégées pour peu que le "stock" de surprotections soit suffisant. Dans la pratique, cet échange est souvent réalisé entre parcelles rurales et parcelles urbaines, entraînant par là la nécessité d'impliquer une solidarité de bassin versant et des mesures de compensation adaptées. En définitive, la vulnérabilité doit être perçue comme une répartition des protections contre les crues qui doit être harmonisée par le processus de négociation [49].

La prévention du risque

La politique de prévention des risques naturels en France consiste à "assurer la sécurité des personnes et des biens en tenant compte des phénomènes naturels. [Elle] vise à permettre un développement durable des territoires, en assurant une sécurité maximum des personnes et un très bon niveau de sécurité des biens." [74]

Les objectifs de la politique de prévention des risques sont [74] :

- la meilleure connaissance des phénomènes et de leur incidences,
- la surveillance des phénomènes naturels,
- l'information des populations sur les risques les concernant et les moyens de s'en protéger,
- la prise en compte des risques dans les décisions d'aménagement,
- l'adaptation et protection des installations actuelles et futures aux phénomènes naturels,
- le retour d'expérience.

Histoire de la législation

Les risques ont fait l'objet d'une prise de conscience progressive par la législation [3] :

- Au Moyen-Âge, des réglementations et des pratiques locales sont imposées pour limiter le déboisement, dans le but de "résister aux avalanches et autres incommodités" : 1348, arrêt du Dauphin en Oisans (Isère).
- Le XIX^{ème} siècle voit l'apparition de réglementations pour protéger les citoyens des inondations. Dès 1807, les riverains sont chargés d'effectuer des travaux de protection le long des cours d'eau. Les autorités organisent également le reboisement des versants dénudés afin de diminuer la violence des crues et de limiter les érosions, les avalanches et les chutes de blocs (lois de 1860, 1864 et 1882).
- En 1884, une loi fixe les pouvoirs de police générale du maire.

Aujourd'hui, les politiques autour du risque nécessitent une codification des mesures jusqu'alors informelles. Celle-ci se traduit par le biais de documents d'information et de réglementations de construction, le plus souvent à l'échelle de la commune.

Il s'agit selon les cas et les époques de :

- cartes d'aléas,
- cartes de risques naturels en application de l'article R. 111-3 du code de l'urbanisme,
- P.Z.E.R.N. : Plan des Zones Exposées aux Risques Naturels,
- P.I.G. : Projet d'Intérêt Général,
- P.E.R. : Plan d'Exposition aux Risques naturels prévisibles, etc.

La prévention des risques est inscrite dans les contrats de plan et dans le schéma des espaces naturels et ruraux. La protection des lieux habités par des ouvrages réalisés par l'État ou par les collectivités locales contribue à réduire la vulnérabilité. Par ailleurs, des plans de secours et d'évacuation fixent à l'avance les conditions d'organisation de la gestion de la crise.

Dans les faits, plusieurs textes définissent le cadre des documents de prévention et de prescriptions [39][81][93][95]. Entre autre :

- En 1935, la création des P.S.S. (Plans de Surfaces Submersibles) : leur annexion au P.O.S. contraint les aménageurs à consulter les autorités pour tout nouveau déploiement d'activité. En pratique, les P.S.S. sont peu appliqués – sinon aux grands cours d'eau – mais ils restent d'actualité en favorisant la prévention locale et le libre écoulement des cours d'eau.
- En 1977, la création de l'article R. 111-3 du code de l'urbanisme : ce texte est destiné à soumettre à conditions – voire interdire – l'urbanisation des zones à risques.
- Loi du 13 juillet 1982 : **Indemnisation et prévention économique**. Cette loi organise l'indemnisation suite aux catastrophes naturelles et crée les Plans d'Exposition aux Risques (P.E.R.). La politique a cependant des difficultés à être mise en œuvre : échelle communale inadaptée aux phénomènes, coûts trop importants, analyses de vulnérabilité peu éprouvées, etc. L'initiative a toutefois initié la prise en compte séparée des concepts d'aléa et de vulnérabilité, ainsi que la sensibilisation aux problèmes de prévention.
- Loi du 22 juillet 1987 : **Information**. Cette loi définit l'organisation de la sécurité civile, la protection de la forêt contre l'incendie et la prévention des risques majeurs. Par ailleurs, elle stipule dans son article 21 que les citoyens ont un droit à l'information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis et les mesures de sauvegarde les concernant. Parmi les documents destinés à l'information des populations, on compte les Dossiers Départementaux sur les Risques Majeurs (D.D.R.M.), les Dossiers Communaux Synthétiques (D.C.S.) et les Documents d'Information Communaux sur les Risques Majeurs (D.I.C.R.I.M.) – plus tournés vers les actions de prévision, d'alerte et de gestion de crise.
- De 1987 à 1994, plusieurs textes définissent le cadre de l'information préventive :
 - Décret du 11 octobre 1990 relatif à l'exercice du droit à l'information sur les risques majeurs.
 - Circulaire du Ministre de l'Environnement du 25 février 1993 relative à l'information préventive des populations sur les risques majeurs.
 - Circulaire du Ministre de l'Environnement du 21 avril 1994 relative à l'information préventive – consignes particulières.
- Loi du 2 février 1995, dite "loi Barnier" : **Règlementation de l'urbanisme**. Cette loi remplace les P.E.R. par les P.P.R. et instaure les prescriptions d'urbanisme et de construction pour prévenir le risque. Elle renforce les mesures de protection de l'environnement.
 - Circulaire interministérielle du 24 janvier 1994 relative à la gestion des zones inondables – arrêt des implantations humaines dans les zones les plus dangereuses, préservation des capacités de stockage et d'écoulement des crues, et sauvegarde de l'équilibre et de la qualité des milieux naturels.

Il existe également des textes spécifiques aux "risques technologiques" :

- Loi du 19 juillet 1976 relative aux **installations classées pour la protection de l'environnement**, puis décret du 21 septembre 1977 modifié, pris pour l'application de la loi précitée.

- Directive européenne dite “SEVESO” du 24 juin 1982 relative aux **risques d'accidents majeurs** de certaines activités industrielles. Selon les textes, les installations industrielles sont classées en fonction d'une liste des substances dangereuses. Pour ces installations dites “SEVESO”, le fabricant doit fournir une “description des causes de risques et des conditions dans lesquelles un accident majeur peut se produire ainsi qu'une description des mesures de prévention envisagées”.
- Décret du 6 mai 1988 relatif aux **plans d'urgence**.
- Arrêté du ministre de l'environnement du 28 janvier 1993 relatif aux règles techniques de **l'information préventive** des personnes susceptibles d'être affectées par un accident survenant dans une installation soumise à la législation des installations classées.

De manière générale, la gestion du risque industriel en France s'attache à réduire les dangers potentiels induits par la présence de certains types d'industrie. En particulier, conformément à la loi du 27 juillet 1987 sur la maîtrise de l'urbanisme, une mesure réglemente l'urbanisation dans l'environnement proche des industries à risque. Elle exige par ailleurs des industriels d'identifier précisément les risques inhérents à leurs installations, leur localisation et les zonages de protection qui en découlent. Ceux-ci permettent de délimiter des zones de protection des populations et d'organiser la sécurité civile.

La gestion institutionnelle des risques industriels en France est fondée sur l'approche déterministe et normative. Elle consiste à identifier les risques en présence et leurs zones d'extension selon des scénarios d'accidents établis par des experts. Le Ministère de l'Environnement considère ainsi 5 scénarios majeurs pour les 3 catégories de risque que sont l'explosion, l'incendie et la toxicité (loi n°87-565 du 22 juillet 1987). La démarche préconisée auprès des industries s'appuie fortement sur les retours d'expérience. Les zonages obtenus après expertise sont soumis et éventuellement modifiés par la D.R.I.R.E. [10]

Le Tableau 35 recense les textes relatifs à la prévention des risques majeurs en France, depuis la directive européenne SEVESO et la loi d'indemnisation de 1982, jusqu'à 1995, année de promulgation de la loi Barnier.

Date	Intitulé
24 juin 1982	Directive européenne SEVESO relative aux risques d'accidents majeurs de certaines activités industrielles.
13 juillet 1982	Loi n°82-600 modifiée relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles.
3 mai 1984	Décret n°84-328 relatif à l'élaboration des plans d'exposition aux risques naturels prévisibles.
22 juillet 1987	Loi n°87-565 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs.
6 mai 1988	Décret n°88-622 relatif aux plans d'urgence, pris en application de la loi n° 87-565 du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs.
2 août 1988	Circulaire relative aux plans particuliers d'intervention (P.P.I.) relatifs aux installations industrielles chimiques.
27 septembre 1988	Circulaire relative aux perturbations importantes sur un réseau de distribution d'eau potable.
22 novembre 1988	Circulaire relative à l'élaboration et à la mise en place du plan d'urgence "Transports de Matières Dangereuses".
5 juin 1989	Circulaire relative à la convention Transaid pour l'intervention chimique.
13 septembre 1989	Circulaire relative à l'application de l'article 13 de la loi n°87-565 du 22 juillet 1987 (remboursement des frais de secours).
16 mars 1990	Circulaire relative au plan de secours spécialisé "Transport de Matières Radioactives".
11 mai 1990	Décret n°90-394 relatif au code d'alerte national.
11 octobre 1990	Décret n°90-918 relatif à l'exercice du droit à l'information sur les risques majeurs pris en application de la loi du 22 juillet 1987.
10 mai 1991	Circulaire n°91-43 relative à l'information préventive sur les risques technologiques et naturels majeurs.
3 janvier 1992	Loi n°92-3 sur l'eau.
23 mars 1992	Décret n°92-273 relatif aux plans de zones sensibles aux incendies de forêts.
28 août 1992	Arrêté portant approbation des modèles d'affiches relatives aux consignes de sécurité devant être portées à la connaissance du public.
15 septembre 1992	Décret n°92-997 relatif aux plans particuliers d'intervention concernant certains aménagements hydrauliques.
28 décembre 1992	Circulaire relative à la construction des dossiers concernant des demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.
8 janvier 1993	Loi n°93-24 relative à la protection et à la mise en valeur des paysages et modifiant certaines dispositions législatives en matière d'enquête publique.
28 janvier 1993	Arrêté de M. le Ministre de l'Environnement relatif aux règles techniques de l'information préventive des personnes susceptibles d'être affectées par un accident survenant dans une installation soumise à la législation des installations classées.
25 février 1993	Circulaire de M. le Ministre de l'Environnement relative à l'information préventive et sécurité des occupants des terrains aménagés pour l'accueil du camping et du caravanage au regard des risques majeurs.
15 mars 1993	Décret n°93-351 relatif aux plans d'exposition aux risques naturels prévisibles.
13 décembre 1993	Circulaire interministérielle n°93-00265C relative à l'analyse des risques et information préventive.
24 janvier 1994	Circulaire relative à la prévention des inondations et à la gestion des zones inondables.
28 mars 1994	Instruction prise pour l'application de l'arrêté du 15 septembre 1992 relatif au règlement pour le transport des matières dangereuses.
21 avril 1994	Circulaire de M. le Ministre de l'Environnement concernant l'information préventive.
13 juillet 1994	Décret n°94-614 relatif aux prescriptions permettant d'assurer la sécurité des occupants des terrains de campings et de stationnement des caravanes soumis à un risque naturel ou technologique prévisible.
17 août 1994	Circulaire interministérielle n°94-00227C concernant les modalités de gestion des travaux contre les risques d'inondation.
23 septembre 1994	Circulaire interministérielle n°94-255 relative aux risques d'inondations : organisation de la prévention des secours : mobilisation des services de l'État et des maires.
1 ^{er} décembre 1994	Arrêté pris en application du décret n°92-997 du 15 septembre 1992 relatif aux plans particuliers d'intervention concernant certains aménagements hydrauliques.
11 janvier 1995	Circulaire n°95-8 relative à la procédure de constatation de l'état de catastrophe naturelle.
2 février 1995	Loi n°95-101 relative au renforcement de la protection de l'environnement.
6 février 1995	Arrêté fixant le modèle du cahier de prescriptions de sécurité destiné aux gestionnaires de terrains de camping et de stationnement de caravanes soumis à un risque naturel ou technologique prévisible.
6 février 1995	Circulaire interministérielle concernant les mesures préventives de sécurité dans les campings soumis à un risque naturel ou technologique prévisible.
6 mars 1995	Circulaire d'application de la loi n°95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement.
9 juin 1995	Circulaire n°95-392 de M. le Ministre de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire concernant l'application de la circulaire interministérielle Norinte/94/00255C du 23 septembre 1994 relative aux risques d'inondation.
5 octobre 1995	Décret n°95-1089 relatif aux plans de prévention des risques naturels prévisibles.
17 octobre 1995	Décret n°95-1115 relatif à l'expropriation des biens exposés à certains risques naturels majeurs menaçant gravement des vies humaines.

Tableau 35 : contexte juridique de la prévention des risques en France, de 1982 à 1995 (d'après [95])

Actuellement, l'ensemble des documents cités à l'occasion de la prévention des risques naturels (cartes d'aléa et des enjeux, P.Z.E.R.N., P.I.G., P.E.R., etc.) est donc remplacé par le P.P.R. : Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles. Ce document peut *"interdire tout type de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation agricole, forestière, artisanale, commerciale ou industrielle ou [...] prescrire les conditions dans lesquelles ils doivent être réalisés, utilisés ou exploités."* (art. 40-1 de la loi 87-565, modifiée par la loi 95-101)

Précisons au passage que cette procédure est capable de réglementer toute occupation humaine mais reste lourde à mettre en place. Il est cependant possible d'intégrer dans le P.O.S. des réglementations par le biais d'une carte des aléas, à ceci près qu'elles ne peuvent imposer des dispositions constructives (celles-ci sont à l'entière initiative du maître d'œuvre).

Description des procédures

Procédures d'information auprès des populations

L'information préventive a été instaurée en France par l'article 21 de la loi du 22 juillet 1987 : "Le citoyen a le droit à l'information sur les risques qu'il encourt en certains points du territoire et sur les mesures de sauvegarde pour s'en protéger".

Le décret du 11 octobre 1990 a précisé le contenu et la forme des informations auxquelles doivent avoir accès les personnes susceptibles d'être exposées à des risques majeurs ainsi que les modalités selon lesquelles ces informations leur seront portées à connaissance.

Par circulaire du 25 février 1993, le Ministère de l'Environnement a demandé aux préfets d'établir la liste des communes à risques, en leur demandant de définir un ordre d'urgence pour que tous les citoyens concernés soient informés sous cinq ans.

Vers une prise de conscience des risques par les populations

L'information préventive est faite en priorité sur les communes où les enjeux humains sont les plus importants, où les protections sont les plus fragiles (par exemple au niveau des campings) [93].

Les événements rares mais importants nécessitent un effort particulier afin qu'ils puissent subsister dans les mémoires collectives, par exemple grâce à l'Atlas Départemental des Risques Majeurs (A.D.R.M.), comprenant l'atlas des zones inondables, l'atlas des couloirs d'avalanches, etc.

A ce titre, les atlas des zones inondables comportent, en plus des P.S.S., une carte rappelant les crues historiques et une carte des aléas (très forts / forts / moyens / faibles) déterminés en fonction des hauteurs d'eau et des vitesses de courants pour une crue correspondant à un "scénario catastrophe" ayant les mêmes effets que les plus fortes crues connues.

Un des efforts actuels en matière de prévention des risques concerne les savoirs empiriques et les recherches historiques locales. A la suite des inondations de novembre 1999, le Ministre de l'Environnement, Dominique Voynet, déplorait à juste titre : "*Dès que la mémoire s'estompe, les mesures d'inconstructibilité sont contestées.*"

La réglementation actuelle

Les mesures d'information doivent être diffusées auprès des populations exposées. A ce titre, il existe **4 types de communes** concernées [39] :

- les communes disposant d'un P.P.I. (Plan Particulier d'Intervention) en application du décret du 6 mai 1988,
- les communes faisant l'objet de P.P.R. remplaçant ainsi les anciens P.E.R. (Plan d'Exposition aux Risques naturels prévisibles), P.S.S. (Plan des Surfaces Submersibles) et autres périmètres de risques, conformément à l'article R. 111-3 du code de l'urbanisme ou à un P.I.G. (Projet d'Intérêt Général),
- les communes répertoriées sur les listes nationales ou départementales des communes à risques,
- les communes désignées par un arrêté préfectoral en raison de leur exposition à un risque majeur particulier.

La collecte des données et la constitution des documents réglementaires est réalisée par la **Cellule d'Analyse des Risques et d'Information Préventive** (C.A.R.I.P.), constituée par le préfet et préconisée par la circulaire du 13 décembre 1993. Elle regroupe des représentants des services déconcentrés, des leaders d'opinion, des collectivités locales, des médias, de diverses associations sanitaires et environnementales, etc.

Elle établit :

- la liste des communes à risques, par type de risque,
- les cartes des aléas et des enjeux en précisant les zones où doit être développée l'information préventive,
- le Dossier Départemental des Risques Majeurs (D.D.R.M.) comprenant les informations sur les différents risques du département (naturels et technologiques) et la liste des communes exposées,
- le Dossier Communal Synthétique (D.C.S.) comprenant les informations relatives aux mesures de sauvegarde des populations exposées.

A partir du D.C.S. du préfet, le maire constitue le **Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs** (D.I.C.R.I.M.), dans lequel sont finalement indiqués :

- le recensement des risques,
- la cartographie des risques et des moyens de protection,
- l'énoncé des consignes et de la conduite à tenir en cas de survenance d'un événement.

Au final, D.C.S. et D.I.C.R.I.M. sont tenus à la disposition du public pendant 2 mois ; l'information est réalisée par voie d'affichage dont les conditions sont règlementées (notamment : obligation d'affichage dans de gros regroupements de populations). Le Tableau 36 donne un exemple de D.C.S. réalisé dans une commune de l'Aude, et mis à jour deux semaines avant les inondations spectaculaires du sud de la France à l'automne 1999.

D.C.S. de la Commune de PALAJA (Aude) Mise à jour : 01/11/99	
Arrondissement : Carcassonne Canton : Carcassonne - est Code I.N.S.E.E. : 11272 Population : 1 851 P.O.S. opposable aux tiers Tél. mairie : 04 68 79 62 15	RISQUES NATURELS : INONDATION (R) Cours d'eau : Ruisseaux La Fondure - Le Saint Estève Type : périurbain FEU DE FORET (R) RISQUES TECHNOLOGIQUES : ACCIDENT T.M.D. (A) Voie(s) : A 61
Risque(s) identifié(s) : 3 P.P.R. Crues torrentielles : prescrit D.C.S. : notifié (01/07/1997) D.I.C.R.I.M. : édité (09/1997)	(R) : Risque avec enjeux humains (A) : Aléa sans enjeu humain (X) : Enjeux humains à préciser

Tableau 36 : exemple de Dossier Communal Synthétique – Commune de Palaja (Aude) (source : [91])

En 1996, 512 D.C.S. étaient achevés et diffusés aux maires. Dans l'année qui suivait, 2000 D.C.S. étaient en prévision.

En 1997 également, le M.A.T.E. comptait 91 D.D.R.M. réalisés, alors que le bilan des D.D.R.M. fait apparaître 22000 communes soumises à un ou plusieurs risques, dont la moitié environ avec de forts enjeux humains.

Les P.P.R.

La loi du 2 février 1995 a créé les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (P.P.R.) qui constituent aujourd'hui l'un des instruments essentiels de l'action de l'État en matière de prévention des risques naturels [39][73][88].

Le P.P.R. relève d'une politique globale. Il concerne particuliers, entreprises, collectivités et État et vise notamment à prendre en compte les risques naturels dans l'aménagement, la construction et la gestion des territoires en :

- favorisant la prise de conscience des risques auprès des populations,
- réduisant la vulnérabilité de l'existant par des ouvrages de protection,
- élaborant des réglementations en matière d'urbanisme, de construction et de gestion des espaces,
- fixant les conditions de gestion de crise (organisation, secours, évacuation) dans les implantations concernées.

Six types de risques sont recensés par les P.P.R. : inondations, mouvements de terrain, séismes, feux de forêt, avalanches, tempêtes et cyclones. Des cartes détaillées de ces aléas locaux sont croisées avec celles des habitations ou des infrastructures afin de définir des zones plus ou moins sensibles.

Le P.P.R. relève de la responsabilité de l'État. Son objet est de cartographier les zones soumises aux risques naturels et d'y définir les règles d'urbanisme, de construction et de gestion qui s'appliqueront au bâti existant et futur. Il permet également de définir des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde à prendre par les particuliers et les collectivités territoriales. Il doit être annexé au P.O.S., en vertu de l'article L121-10 du code de l'urbanisme selon lequel les documents réglementant l'occupation des sols doivent prendre en compte les risques naturels.

L'élaboration du P.P.R. est conduite par l'État, réalisée sous l'autorité du préfet de département qui l'approuve après concertation avec les communes et enquête publique. Souvent initiée par la consultation des archives conduisant à la cartographie de l'aléa, l'élaboration du P.P.R. débute par la réalisation d'études techniques et la définition de prescriptions (cf Figure 30). Après une enquête publique et une consultation des collectivités territoriales, le préfet de département approuve le P.P.R. qui s'impose aux plans d'occupation des sols (P.O.S.) et donc à la délivrance des permis de construire par les maires. L'objectif du P.P.R. est finalement de délimiter les zones exposées, de privilégier le développement sur les zones non menacées et d'établir des prescriptions pour les zones à risques.

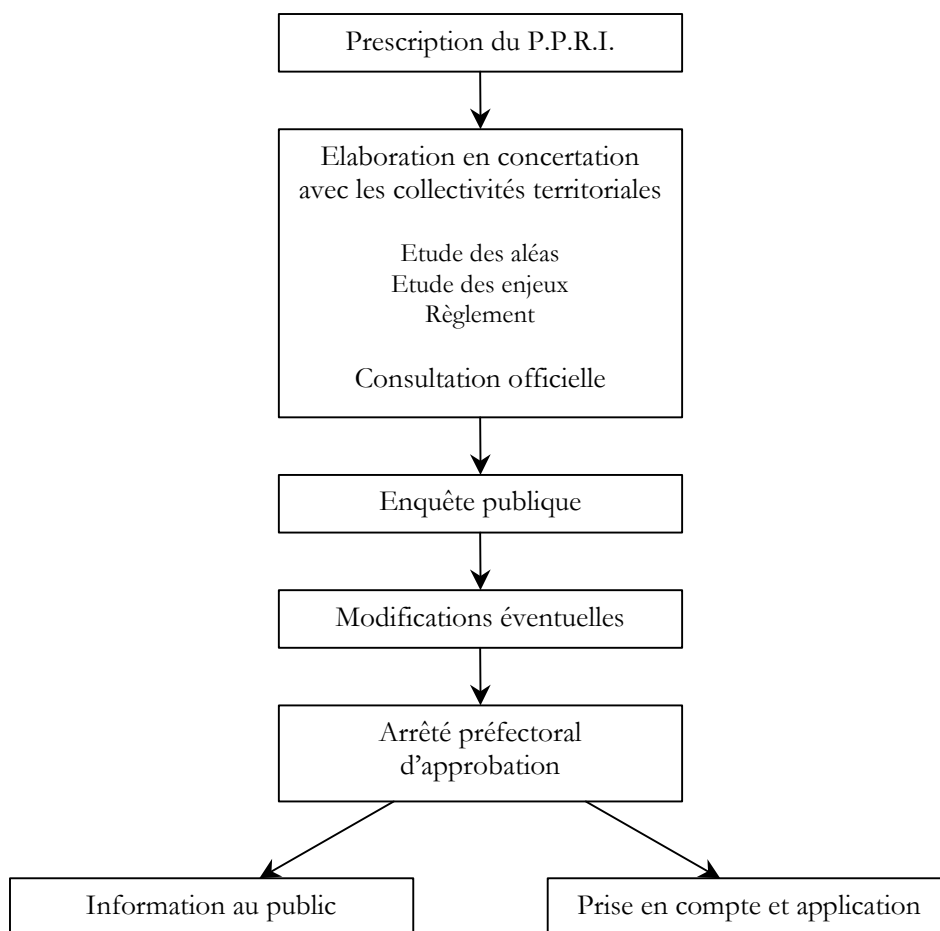


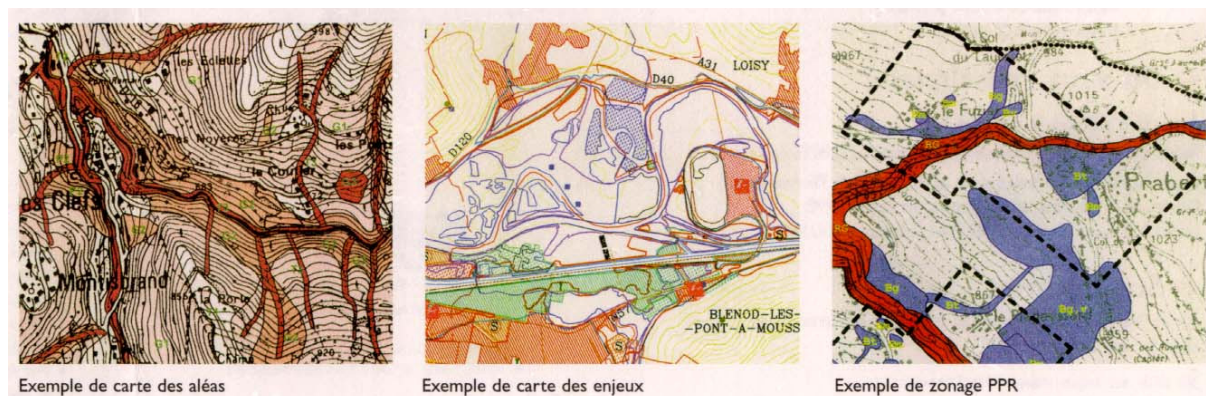
Figure 30 : élaboration d'un P.P.R. Inondation (source : [92])

Le document final du P.P.R. se présente sous la forme (cf Tableau 37) :

- d'un rapport de présentation contenant l'analyse des phénomènes pris en compte et leur impact sur les biens et la population,
- d'une carte réglementaire précisant les zones réglementées par le P.P.R. (échelle comprise entre le 10000^{ème} et le 5000^{ème}) (cf Carte 1),
- d'un règlement précisant les règles appliquées à chaque zone.

<p>TITRE I – Portée du P.P.R. – Dispositions générales</p> <p><u>Article 1</u> : champ d'application dénomination et principes généraux de délimitation du zonage</p> <p><u>Article 2</u> : effets du P.P.R. rappelle les responsabilités pour la mise en application du P.P.R.</p>
<p>TITRE II – Règlementation des projets nouveaux <i>règles définies en application de l'article 40-1, 1° et 2°, de la loi</i></p>
<p><u>Chapitre ...</u> : Dispositions applicables en zone rouge</p> <p>zones où le développement est strictement contrôlé (<i>construction interdite notamment</i>), dites zones « rouges » ou toute autre dénomination (zone R, zone I...), avec indexation s'il y a plusieurs types de ces zones (ex. : R_p, I_n) ; dans ce dernier cas, on prévoira un chapitre par zone</p> <p><u>Article...</u> : Sont interdits <i>précise les types de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation interdits</i></p> <p><u>Article...</u> : Sont autorisés les projets suivants <i>précise les types de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation dont l'autorisation est soumise à des prescriptions particulières :</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. constructions sous réserve des prescriptions suivantes : <ul style="list-style-type: none"> • règles d'urbanisme : à prendre en compte par les services chargés du droit des sols • règles de construction : de la responsabilité du constructeur • autres règles : d'exploitation, d'utilisation, etc. 2. aménagements sous réserve des prescriptions... <i>la même structure que pour « 1. constructions » ci-avant peut être adoptée</i> 3. exploitation des terrains sous réserve... <i>la même structure que pour « 1. constructions » ci-avant peut être adoptée</i> <p><u>Article...</u> : Prescriptions applicables aux travaux sur les biens et activités existants <i>précise le régime applicable, notamment pour les extensions, transformations, etc. ; ce régime est généralement plus souple que le régime applicable aux projets totalement nouveaux</i></p> <p><u>Article...</u> : Sont recommandés <i>indique des mesures qui n'ont pas force réglementaires, mais qui peuvent utilement être prises par le maître d'ouvrage (ex. : aménagements intérieurs)</i></p>
<p><u>Chapitre...</u> : Dispositions applicables en zone bleue</p> <p>zones où le développement reste autorisé, dites « zones bleues » ou autre dénomination (zone II, zone B...), avec indexation s'il y a plusieurs types de ces zones <i>la même structure que pour les « zones rouges » ci-avant peut être adoptée</i></p>
<p>TITRE III – Mesures de prévention de protection et de sauvegarde <i>règles définies en application de l'article 40-1, 3°, de la loi</i> <i>s'appliquent indépendamment ou non du découpage ci-dessus du P.P.R. (rouge-bleu)</i> <i>on précisera à qui elles incombent (collectivité publique ou particulier)</i></p> <p><u>Article...</u> : Mesures recommandées <i>mesures définies par le P.P.R. sans obligation de réalisation</i></p> <p><u>Article...</u> : Sont obligatoires dans un délai de... <i>les mesures obligatoires doivent être mises en évidence</i> <i>le délai maximum fixé par la loi pour leur réalisation est de 5 ans</i></p>
<p>TITRE IV – Mesures sur les biens et les activités existants <i>règles définies en application de l'article 40-1, 4°, de la loi</i> <i>peuvent être prévues dans toutes les zones du P.P.R., bleues ou rouges identiques ou distinctes</i> <i>la même structure que pour le titre III ci-avant peut être adoptée</i></p>

Tableau 37 : exemple de plan de règlement de P.P.R. (source : [56])



Carte 1 : exemple de cartes annexées aux plans de prévention des risques (source : [74])

De fortes réglementations sont imposées aux zones exposées. Concernant les autres secteurs, le P.P.R. veille à ce que les nouvelles constructions n'aggravent pas les facteurs de risques ni ne soient vulnérables aux phénomènes recensés. Les règles se différencient finalement selon le type de zone (exposée/non exposée), la date de construction (construction existante/planifiée), l'usage du sol (activités touristiques, habitations, exploitation agricole, etc.).

Le Plan de Prévention des Risques s'est substitué à plusieurs instruments antérieurs qui n'avaient pas atteint les objectifs de prévention escomptés : Plans d'Exposition aux Risques (P.E.R.) créés par la loi du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles, périmètres de risque pris en application de l'article R. 111-3 du code de l'urbanisme, etc.

Les P.P.R. se sont également substitués aux Plans de Surfaces Submersibles (P.S.S.) qui avaient pour support une loi de 1937 et couvraient alors 2000 communes environ. Ils devront être révisés progressivement pour que leur contenu corresponde effectivement aux objectifs des P.P.R.

Le remplacement des P.O.S. par les P.L.U.

Dans le cadre de la loi S.R.U. (Solidarité et Renouvellement Urbains) du 13 décembre 2000, le Plan Local d'Urbanisme (P.L.U.) succède et remplace l'ancien Plan d'Occupation des Sols (P.O.S.) [99]. **P.O.S. et P.L.U. ont la même portée juridique et les mêmes règles d'utilisation.**

Le P.L.U. est un document d'urbanisme et de planification. Il définit les orientations d'urbanisme de la commune et exprime le projet urbain de la commune. Il assure également la traduction juridique du projet de développement de la commune, réglementant les droits à construire sur le territoire communal. Le P.L.U. délimite des zones, urbaines et naturelles, à l'intérieur desquelles sont définies, en fonction des situations locales, les règles applicables relatives à l'implantation, à la nature et à la destination des sols. Il peut, en outre, comporter des dispositions relatives, notamment, à l'aspect extérieur des constructions, aux emplacements à réserver, au C.O.S. (Coefficient d'Occupation du Sol). Ce document est élaboré à l'initiative et sous la responsabilité de la commune. Les principes et les règles qu'il contient sont donc spécifiques à celle-ci. Les communes dotées d'un P.L.U. prennent automatiquement la compétence en matière d'urbanisme. Les autorisations d'urbanisme sont délivrées par le Maire au nom de la commune suivant les prescriptions du P.L.U.

Le P.L.U. est composé de **5 pièces principales** :

- un rapport de présentation : il expose un diagnostic, analyse l'état initial de l'environnement et évalue les incidences de l'orientation du plan sur l'environnement ;
- un Projet d'Aménagement et de Développement Durable (P.A.D.D.) : il définit les orientations d'urbanisme et d'aménagement retenues par la commune, notamment en vue de favoriser le renouvellement urbain et de préserver la qualité architecturale et l'environnement ;
- un plan de zonage : les zones sont réparties en 4 catégories (U – urbaines / AU – à urbaniser / A – agricoles / N – naturelles et forestières) ;

- un règlement : il est composé des documents graphiques (plan de zonage) et du règlement littéral ;
- des annexes : annexes sanitaires, plan de servitudes et plan des contraintes, etc.

Il est recommandé de consulter le P.L.U. afin de prendre connaissance de ses dispositions réglementaires avant tout dépôt de demande de permis de construire. Cette démarche préalable permet d'éviter d'élaborer un projet de construction en contradiction flagrante avec celles-ci.

Le P.L.U. est un document public. Il est mis à la disposition du public en mairie, en préfecture et à la sous-préfecture dont dépend la commune concernée.

La lecture du P.L.U. se fait selon le schéma suivant :

- repérage sur le plan de zonage du terrain concerné ;
- détermination du type de zone à laquelle appartient le terrain (par exemple, U, UA, A, N, etc.) ;
- consultation du règlement relatif à ce terrain.

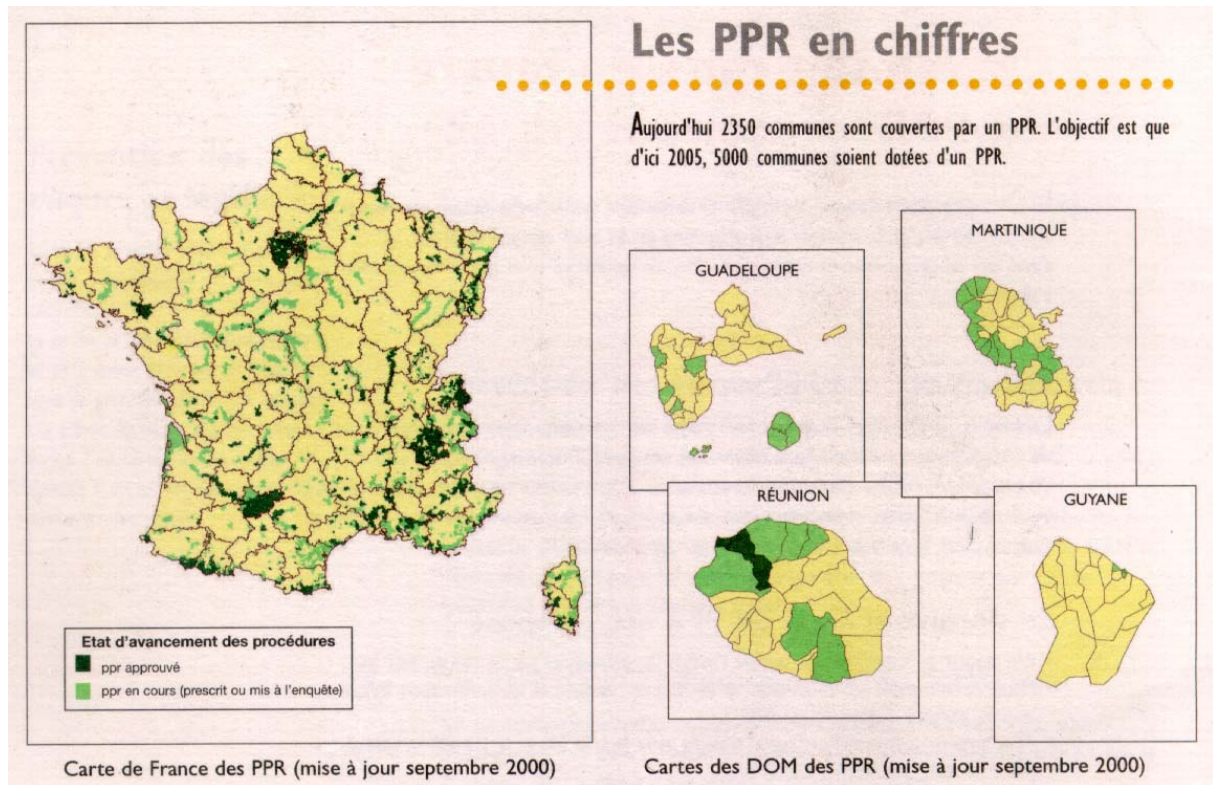
Les principales différences entre le P.O.S. et le P.L.U. sont les suivantes,;

- Le P.O.S. est composé de 4 pièces principales (au lieu de 5 désormais dans le P.L.U.) :
 - un rapport de présentation,
 - un plan de zonage,
 - un règlement,
 - des annexes (annexes sanitaires, plan de servitudes et plan des contraintes).
- Les zones du P.O.S. sont nommées UA, UB, NA, NC, ND (dans le P.L.U., les zones s'appellent U, A, AU, N).

L'état des lieux aujourd'hui

L'adoption des P.P.R. et autres plans en France

Les D.D.R.M. (Dossier Départemental des Risques Majeurs) mettent en évidence 22000 communes à risques dont la moitié environ avec de forts enjeux humains. A terme, celles-ci doivent faire l'objet de 10000 P.P.R. A l'automne, seuls 2350 P.P.R. ont déjà été réalisés (cf Carte 2). L'objectif est de doter 3000 communes supplémentaires en P.P.R. d'ici 2005 [39].



Carte 2 : état d'avancement de la réalisation des plans de prévention des risques en septembre 2000 (source : [74])

Force est de constater l'urgence de l'instauration des P.P.R. dans certaines communes fortement exposées : pour mémoire, sur les 85 P.P.R. prescrits dans les départements touchés par les inondations de novembre 1999 (Aude, Pyrénées-Orientales et Tarn), seuls 7 ont été mis en œuvre, tandis que 27 autres communes bénéficiaient de plans antérieurs assimilables à des P.P.R.

En pratique, l'intérêt pour le P.P.R. est proportionnel à la conscience de la présence d'un risque : les zones montagneuses sont fortement soumises aux avalanches et glissements de terrain, et de fait, près de la moitié des communes pyrénéennes sont dotées d'un P.P.R., et celles des Alpes sont aussi très bien pourvues.

75 millions de francs ont été investis en 1999 par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement dans la politique de P.P.R., contre 20 millions de francs en 1993.

Pour mémoire, le montant des dommages par an s'élève à :

- 3 milliards de francs lorsqu'il ne survient pas d'événement majeur,
- plusieurs milliards de francs en cas de crue centennale de la Loire ou de la Seine – en l'occurrence, les inondations dans le sud de la France à l'automne 1999 ont coûté à elles seules plus de 6 milliards de francs et la mort de 34 personnes.

Le Tableau 38 [73] recense les communes concernées par des procédures de prévention. Ces données sont issues des informations données par les services déconcentrés de l'État

Documents	En cours	Approuvés
Plans de Prévention des Risques	2205	773
Plans d'Exposition aux Risques		373
Périmètres de risques (R.111-3)		1027
TOTAL P.E.R. – P.P.R. – R.111-3	2205	2173
Plans de Surface Submersibles		2029
Projets d'Intérêt Général		276

Tableau 38 : les communes françaises concernées par des procédures réglementaires de prévention des risques naturels au 30 octobre 1999 (source : [73])

L'exemple de la ville de Nîmes

Suite à la catastrophe de 1988 qui avait coûté la vie de 9 personnes et 4 milliards de francs de dégâts, la mairie de Nîmes (130000 habitants) a pris conscience du risque d'inondations et a entrepris la mise en œuvre de solutions afin de prévenir le risque.

Celles-ci résultent de compromis techniques, socio-économiques et financiers. Elles sont [76] :

- **la délimitation d'un périmètre de risque** (établi notamment à partir des observations de la catastrophe de 1988) permettant d'imposer des conditions ou d'interdire les constructions, sans pour autant pouvoir imposer des travaux sur l'existant (contrairement aux P.P.R.) ;
- **la mise en place d'un P.P.C.I.** (Plan de Protection Contre les Inondations) dont le coût a dépassé le milliard de francs. Le P.P.C.I. a permis entre autre :
 - la création de bassins de retenue,
 - l'aménagement des zones d'écoulement,
 - le renforcement des ouvrages enterrés,
 - le recalibrage des fossés.

Ces mesures sont complétées par l'intégration d'une direction de la sécurité et de la prévention des risques au sein des services municipaux.

Les limites des P.P.R.

La réglementation des P.P.R. souffre de plusieurs problèmes qui semblent récurrents. Ils concernent :

- la répartition contestée des compétences dans l'élaboration du P.P.R.,
- la part trop importante de la politique d'indemnisation, au détriment de la prévention,
- le frein au développement économique.

La répartition des compétences

Le reproche souvent fait aux réglementations de la prévention des risques concerne la prolifération des textes et la faible coopération des acteurs du risque [12].

Le constat sur **la réglementation d'organisme et de budget autour des risques** est sévère :

- Il existe beaucoup de textes législatifs et réglementaires sur l'aménagement, l'urbanisme et l'environnement mais sans concordance (pas d'actualisation rigoureuse, de codification claire) ni répartition des compétences explicites.
- La politique autour des risques souffre de la dualité des Ministères de l'Environnement (actions de prévention) et de l'Intérieur (sécurité, secours et alerte).
- Les liaisons entre les acteurs publics et le Ministère de l'Environnement sont faibles. Les structures locales sont inadaptées (l'intercommunalité n'est pas assez développée) tandis que la société civile (assureurs, bâtiments, associations, etc.) ne participe pas à la prévention.
- Le budget de la prévention n'est ni établi, ni suivi (alors qu'il atteint 2 milliards par an !).

Localement [82], les pouvoirs de police du maire sont transférés en majeure partie vers le préfet, tandis que l'État s'approprie la maîtrise totale du processus d'instauration du plan de prévention en cas d'urgence. Ce nouvel aspect de la gestion des risques inclus dans les P.P.R. n'émeut pas les responsables

communaux : doit-on invoquer une mauvaise compréhension ou information relative aux textes, ou la satisfaction de se voir déchargés de certaines responsabilités ? Il demeure une protestation générale quant à la restriction des pouvoirs en matière d'urbanisme.

Globalement, le manque de coopération et de maîtrise d'ensemble disperse les actions menées sans souci des acteurs et de l'échelle territoriale pertinents.

La part des politiques d'indemnisation et de prévention

Le système d'indemnisation est issu de la loi de juillet de 1982. Cette dernière est très critiquée pour ce qu'elle est trop généreuse et freine les actions de prévention. Manifestement, elle fonctionne bien au niveau de la réparation mais déresponsabilise en terme de prévention, sans compter que les volets indemnisation et prévention sont séparés et ne permettent donc pas une gestion globale des risques [12].

Concernant le “**financement du risque**” [70] :

- les plans de prévention sont à la charge du Ministère de l'Environnement,
- les indemnisations sont gérées par les compagnies d'assurance et l'État dans le cadre des catastrophes naturelles.

Le financement des indemnisations représente près de 5 milliards de francs par an, soit 10 fois plus que les dépenses engagées pour l'élaboration des P.P.R. Cependant, les compagnies d'assurances refusent de s'impliquer dans la prévention.

Enfin, l'état de catastrophe naturelle est décrété trop souvent, cela ayant pour effet de déresponsabiliser les élus et les citoyens et d'entraîner des prises de décisions qui ne se font pas en toute connaissance de cause.

A l'occasion des tempêtes de décembre 1999, Lionel Jospin a annoncé la mise en place d'une “*mission d'évaluation*” des risques afin de tirer les enseignements des tempêtes. Les domaines d'application sont variés et témoignent d'une inversion de tendance :

- prévention,
- procédures d'alarme ou d'alerte des populations,
- organisation des secours,
- gestion des risques,
- normes et équipements des constructions, notamment pour les bâtiments scolaires, etc.

Les contraintes d'urbanisme et le développement économique

Le frein au développement est ressenti par les collectivités locales sous trois aspects [82] :

- **Le zonage réglementaire s'appuie sur un scénario de risque retenu à partir du principe de précaution** : il s'agit de se protéger “au mieux”. Le travers d'un tel principe réside dans l'adoption d'un scénario de risque maximum prévenant une recherche ultérieure de responsables au détriment du développement de la commune.
- **Les élus locaux sont confrontés à la “spirale de l'aménagement”** : “plus on protège, plus on bâtit, plus on accroît le risque, plus il faut protéger, etc.”. Ils se trouvent ainsi dans une situation de blocage à laquelle les P.P.R. ne proposent aucune alternative en terme de développement communal. Ce problème soulève la question d'une possibilité d'élaboration de P.P.R. parallèlement à une réflexion sur le développement, autrement dit la possibilité d'une approche intégrée de la gestion d'un territoire soumis à l'existence d'un risque naturel.
- Contrairement aux P.E.R. (Plans d'Exposition aux Risques) fondés sur un grand nombre d'études, **les P.P.R. doivent donner “la priorité aux études qualitatives pour la détermination de l'aléa.”** Ce détachement des connaissances scientifiques est perçu comme une manœuvre de l'État pour multiplier les zones à risques sans considération des intérêts économiques. A l'encontre de ce principe, la réglementation laisse aux communes la possibilité de mener des études complémentaires pour contester un zonage – encore faut-il que la commune ait la capacité financière pour réaliser de telles études, et quand bien même ce travail complémentaire serait jugé recevable...

A l'occasion des inondations dans l'Aude, le Ministre de l'Environnement Dominique Voynet s'est défendue en ces termes : *“La prévention des risques est une priorité de mon Ministère [...] Nous avons sans cesse des litiges pour une station d'épuration ou une zone artisanale qu'on prétend implanter dans les zones inondables. Et je suis exposée aux protestations des élus, qui considèrent volontiers [le] Ministre de l'Environnement comme [le] Ministre qui empêche le développement économique. Dans la région [Midi-Pyrénées], par exemple, le plan de prévention des risques de Montauban et de Moissac est contesté par les élus [...] Nous n'avons pas connaissance de difficultés avec les communes directement concernées par les dernières inondations.”*

Notons enfin que les P.P.R. de conception récente (1995) sont inopérants contre l'“existant”, en particulier contre les constructions érigées sans retenue dans les lits majeurs des rivières ou au bord des embouchures. Il est impossible de détruire ce qui a été construit en toute légalité.

En novembre 1999, des lotissements ont été emportés à Cuxac et Canet-l'Aude,, mais si les P.P.R. avaient été adoptés, ils n'auraient pas empêché l'existence même de ces bâtiments déjà situés en zones inondables.

Des pistes de solution

Afin de remédier à la politique “hybride” actuelle, sans coopération ni réelle efficacité, les solutions politiques pourraient être un recours [12] :

- au “tout État”, à l'encontre de toutes les politiques réalisées dans le monde (mais cette solution reste peu réaliste),
- à un scénario libéral “dur” reposant sur les mécanismes d'assurance,
- à un scénario “participatif” avec le partage des compétences et la responsabilisation des personnes, des entreprises et des collectivités.

Le scénario participatif permettrait ainsi de répondre aux deux enjeux de la politique publique :

- les rapports de la société avec la nature et la gestion des milieux,
- les rapports de la société avec la sécurité et la gestion des risques.

A ce titre, les efforts doivent se concentrer sur :

- **la prévention des accidents** en développant l'information, la communication et la responsabilité, la favorisation du retour d'expérience pour des actions post-accidentelles et la réforme du système d'assurance afin de réinvestir les fonds dans la prévention et la protection,
- **la généralisation de l'établissement des P.P.R.** à l'échelle appropriée,
- **une meilleure organisation de la contribution de l'État, des collectivités territoriales et de la société civile**, par :
 - la constitution de délégations communes des 4 Ministères concernés (Environnement, Intérieur, Équipement et Agriculture),
 - l'initiation d'actions communes des collectivités territoriales à l'échelon “bassin de risque”,
 - la favorisation de débats à l'initiative des concessionnaires d'aménagement au sein de la société civile.

Finalement, il ne s'agit pas de contraindre une commune défavorisée par le milieu naturel mais de l'aider à orienter ses choix en fonction de ce contexte [44]. Par exemple, pour les inondations, cela implique une réflexion sur le plan hydraulique qui dépasse le cadre de la commune et englobe l'hydrosystème (bassins versants, etc.). Les solutions d'aménagement et de compensations financières doivent donc être recherchées dans une démarche intercommunale à l'échelle du “bassin de risque”.

Notons pour conclure la convergence des doctrines dans les autres pays du monde [12]. La prévention repose sur l'évaluation scientifique des risques, l'information de la population, la responsabilisation de tous les intervenants potentiels. La politique tend à réduire la vulnérabilité des milieux par une planification raisonnée des sols et une implication des populations.

La prévention en matière de risques urbains

La gestion des risques urbains

La gestion des risques urbains est très complexe en ce sens qu'elle implique un très grand nombre d'acteurs à plusieurs niveaux d'étude [51] :

- **thématiquement** : les risques de la circulation sont assurés par les services de la voirie et la sécurité tandis que les risques naturels sont pris en compte par les services de l'État et le plus souvent à une échelle plus petite que le territoire urbain ;
- **géographiquement** : les manifestations du risque se font à des échelles très différentes : risques collectifs/individuels, risques diffus/individus rassemblés, dangers linéaires/ponctuels, etc. ;
- **niveaux de gestion** : il y a une multiplicité des approches : connaissance des risques, repérage, affichage, prévention, gestion de l'urgence, analyse des retours d'expérience, réparation ;
- **administrativement** : les responsabilités et compétences sont "dispersées" par emboîtement des échelles de saisie et de gestion des phénomènes redoutés.

En particulier, la sécurité en milieu urbain est une priorité gouvernementale. Claude Collin, directeur général de la sécurité de la ville de Marseille, précise à ce titre : "La gestion des risques concerne fondamentalement les libertés publiques. Chaque citoyen a en effet le droit de vivre le plus possible à l'abri des aléas créés par l'homme et le milieu naturel." [30]

Le rôle du maire

La législation en vigueur fait du maire un acteur essentiel doté de pouvoirs et de responsabilités dans le domaine de la prévention des risques urbains. De plus en plus sa responsabilité personnelle est recherchée par les tribunaux. Par ailleurs, les victimes et leurs assureurs invoquent les pouvoirs, et donc les devoirs de police du maire pour le mettre en cause quand un accident se produit [30].

Traiter de la ville et des actions relatives à la réduction des risques susceptibles de mettre en péril son équilibre ou son harmonie revient à examiner un point particulier et spécifique de notre système réglementaire : l'article L.131-1 et suivants du code des communes qui régit les pouvoirs de police du maire. Directement sous la responsabilité de l'État en sa qualité de premier magistrat de la commune, le maire doit garantir à sa population le droit à la sécurité et ceci quels que soient les risques susceptibles de mettre en péril les personnes et les biens [30].

Une initiative des ministères : le Contrat Local de Sécurité

Actuellement, la démarche interministérielle des "contrats locaux de sécurité" (C.L.S. – circulaire du 28 octobre 1997) est effectuée afin de gérer le risque urbain dans les villes, les agglomérations et les transports [17]. Le C.L.S. se définit en tant que procédure d'analyse, de gestion et de résolution des problèmes de sécurité. La démarche s'inscrit entre autre dans :

- une politique de proximité,
- une injection de demande sociale ("légitimation par le bas", c'est-à-dire par les habitants et non plus seulement par l'État),
- une dynamique inter-communale (outil d'aide à la décision, apport explicite de la cartographie).

Elle se décompose en diagnostic, négociation et mise en œuvre (actions, suivi et évaluation).

Le C.L.S. est le résultat d'un engagement interministériel qui témoigne de la volonté commune de plusieurs ministères : l'Intérieur – la Justice – l'Éducation Nationale, la Recherche et la Technologie – la Défense (gendarmerie) – la Jeunesse et les Sports. Fondé sur le principe d'un travail partenarial à long terme, il est élaboré conjointement par le préfet, le procureur de la république et le maire – les recteurs ou leurs représentants sont également associés [94].

Dans le cadre des C.L.S., deux catégories de personnels ont été créées [94] :

- les A.D.S. : Adjoints De Sécurité – contractuels de droit public au sein de la police. Ils ont pour mission :
 - l'ilôtage,
 - l'accueil du public,
 - les activités de prévention (leur jeunesse est un atout pour la réussite d'activités préventives : centres de loisirs jeunes, opérations ville-vie-vacances, prévention routière, etc.),
 - la protection et la tranquillité générale de la population.
- les A.L.M.S. : Agents Locaux de Médiation Sociale – contractuels de droit privés au sein des collectivités locales, associations ou établissements publics. Ils ont pour mission :
 - la sécurisation de lieux, notamment aux abords des établissements scolaires et dans les transports publics,
 - la veille dans les ensembles d'habitat social (correspondants de nuit),
 - la prévention dans les quartiers sensibles,
 - l'aide aux populations fragiles et défavorisées.

A la fin de l'année 1999, le pays compte 700 C.L.S. (soit 400 déjà signés et 300 en préparation). Ils couvrent 85% des zones urbaines et périurbaines.

Au-delà des démarches préventives et d'information, on assiste progressivement à la mise en œuvre d'études des risques urbains dans les grandes agglomérations françaises :

- études des risques liés aux déplacements urbains grâce aux P.D.U. (Plans de Déplacements Urbains) dans les villes de Lille et de Lyon,
- étude de la délinquance au moyen de S.I.G. dans la ville de Toulouse, etc.

La gestion de crise

La gestion des crises successives à des catastrophes (naturelles, technologiques, urbaines ou environnementales) fait l'objet de directives et réglementations bien définies autour – entre autre – de l'alerte des populations, de l'organisation des secours ou encore des mesures de protection. Ce volet du risque étant à la marge de l'aspect préventif des risques, nous avons pris le parti de n'en donner qu'un tableau récapitulatif fourni par le Ministère de l'Environnement (cf Tableau 39).

G E S T I O N D E C R I S E	<i>AVANT :</i> PREPARATION A LA CRISE	SYSTEME D'ALERTE	SIGNAL NATIONAL D'ALERTE, CONSIGNES
		INFORMATION	Enquêtes publiques, information SEVESO
		ORGANISATION DES SECOURS	Plans d'urgence : P.P.I., P.P.S. pour faire face à un risque défini et localisé. PLAN ORSEC : organisation générale des moyens, logistiques, acteurs, responsabilités
		PREP. COMMUNICATION DE CRISE	
	<i>PENDANT :</i> TRAITEMENT, SUIVI DE LA CRISE	ALERTE	SIGNAL ET CONSIGNES
		PROTECTION DES PERSONNES, DES BIENS ET DE L'ENVIRONNEMENT	MISE EN ŒUVRE DES SECOURS
		COMMUNICATION DE CRISE	INFORMATIONS ET CONSIGNES
	<i>APRES :</i> POST-CRISE	ÉVALUATION	Analyse et enseignements
		INDEMNISATION	Assurance et solidarité nationale
		RESTAURATION	Services, bâti et environnement

Tableau 39 : la démarche de gestion des risques, avant, pendant et après (source : [73])

L'évaluation et la prise en charge des dommages

Alors que l'identification, la quantification de la vulnérabilité et des dommages potentiels sont très libres, les réglementations découlant des plans de vulnérabilité ainsi que les procédures d'indemnisation des dommages sont des domaines bien balisés par l'État, les collectivités et les assurances.

Vulnérabilité et réglementations administratives

La décomposition du risque en aléa + vulnérabilité a été adopté par l'État comme fondement pour la rédaction des lois sur les Plans d'Exposition aux Risques (P.E.R.), puis sur les Plans de Prévention des Risques (P.P.R.).

En 1984, les P.E.R. inscrivent explicitement les notions de dommages et de vulnérabilité au sein d'une démarche d'analyse en 5 étapes [43] :

- la connaissance des phénomènes historiques ;
- l'appréciation de l'aléa ;
- l'évaluation des **dommages** ;
- le plan de **vulnérabilité** ;
- l'établissement du P.E.R.

En particulier :

- **L'évaluation des dommages** utilise des fonctions d'endommagement qui relie la part des biens endommagés et le paramètre physique dominant de l'événement (typiquement la hauteur de submersion pour une crue) ainsi que nous avons pu le voir précédemment ;
- **le plan de vulnérabilité** est l'interface entre la carte des aléas et la carte réglementaire, en ce sens qu'il croise le zonage de l'aléa et le plan d'occupation du sol afin de faire apparaître les différents niveaux de risques, les dommages moyens annuels ainsi que les établissements et équipements sensibles ;
- enfin, le P.E.R. effectue un **zonage en 3 parties** : rouge (inconstructibilité), blanche (risque nul) et bleue (constructibilité sous réserve de prescriptions).

En 1995, la loi Barnier remplace les P.E.R. par les P.P.R. Dans les nouveaux textes, les priorités de protection glissent progressivement vers la prise en compte de la vulnérabilité humaine et laissent en suspens la réflexion concernant l'appréciation de la vulnérabilité économique.

Dans les P.P.R., l'appréciation des enjeux oriente les prescriptions réglementaires. En particulier, l'analyse des enjeux existants et futurs s'articule autour de l'évaluation des populations menacées, de l'identification des établissements et des équipements en danger et du recensement des voies de communication susceptibles d'être coupées ou accessibles. A l'issue, le plan de zonage du P.P.R. vise à prévenir le risque en réglementant l'occupation et l'utilisation du sol sous la forme d'un découpage en zones homogènes en termes de mesures de protection, prévention, sauvegarde et d'interdictions, prescriptions et réglementations [56].

Ces dernières font l'objet de la majorité des contestations des P.P.R. De fait, **les consignes sont draconiennes et préviennent pour certaines l'augmentation de la vulnérabilité** :

- le positionnement relativement à la "spirale de l'aménagement" est strict : la mise en place de protections s'accompagne de réglementations sévères sur les constructions supplémentaires ;
- les zones non urbanisées avec un aléa non nul ne sont pas du tout urbanisables, d'autant qu'un début d'urbanisation entraînerait rapidement une urbanisation progressive et complète de la zone ;
- les travaux courants ne sont pas interdits sur les bâtiments exposés au risque sauf s'ils aggravent l'aléa, s'ils excèdent 10% de la valeur des biens ou encore s'ils augmentent la vulnérabilité : par conséquent, la reconstruction après destruction est formellement interdite.

Vulnérabilité et dommages dans le domaine assurantiel

Contrairement à l'État et aux collectivités qui appréhendent la vulnérabilité comme une quantité à réduire au maximum par des mesures de prévention, les assurances sont sensibles à la valeur des enjeux et donc au montant des dommages déplorés à la suite des catastrophes. Nous avons vu dans la partie consacrée à la vulnérabilité que l'évaluation anticipative des dommages par les assurances s'appuyait sur des tableaux et des fonctions d'endommagement. Nous allons maintenant voir comment prennent forme les résultats des analyses prospective (avant la crise) et factuelle (après la crise) des dommages et comment ils sont exploités pour caractériser les sinistres, allouer les indemnités et, plus généralement, fournir des statistiques à des échelles nationale et mondiale.

L'expression des dommages par les assurances

Les dommages sont comparés à l'estimation des dommages maximums possibles (P.M.L. = Probable Maximum Losses) à la suite du phénomène redouté. Le phénomène est lui-même caractérisé par une valeur d'un indicateur représentatif de l'aléa [79] :

- la valeur médiane : par exemple l'intensité mesurée d'un tremblement de terre sur une région,
- la valeur maximum : par exemple la taille maximum des grêlons tombés localement à la suite d'un orage.

Le choix de la valeur maximum relevée site par site s'explique essentiellement par les facilités induites de recueil et de traitement des données.

Dans l'exemple de l'orage de grêle, les dégâts sur les maisons et les voitures consécutifs à un événement donné sont estimés par rapport à la taille maximum des grêlons susceptibles de tomber lors de l'événement. Le lien quantitatif entre l'aléa (grêle) et les dommages enregistrés sur les habitations et les voitures est issu de courbes et tableaux de correspondance ou de données d'archives.

Le Tableau 40 est un exemple de recensement des dommages. Il a été utilisé dans l'évaluation des dégâts consécutifs à la tempête de grêle survenue le 14 avril 1999 à Sydney. Les dommages sont estimés en fonction du plus gros grêlon tombé localement et répartis en 3 classes : dommages de toits / fenêtres / voitures. La taille des grêlons est elle-même discrétisée en 4 classes.

		Taille des grêlons			
		1 à 2,9 cm	3 à 4,9 cm	5 à 6,9 cm	7 à 13 cm
Dégâts des toits	aucun	dommages exprimés en % de cas observés pour chacun des 3 types de dégâts			
	peu de tuiles cassées				
	beaucoup de tuiles cassées				
Dégâts des fenêtres	oui				
	non				
Dégâts des voitures	aucun				
	carrosserie un peu abîmée				
	carrosserie sérieusement abîmée				
	vitres cassées				

Tableau 40 : mode d'évaluation des dommages – exemple d'une tempête de grêle en Australie (source : [79])

En chaque site et pour chaque type d'entités sinistrées, les dommages sont comparés à la perte maximale probable (P.M.L.) fonction des paramètres de l'événement. Ces résultats enrichissent la base d'informations pour une analyse prospective des dommages suite à une tempête de grêle et dont l'intensité sera caractérisée ici par la taille maximum des grêlons.

Par ailleurs, le lecteur trouvera en Annexe 2 une étude prospective des dommages menée par un centre de recherche australien. Le principe de cette étude consiste à ramener tous les dommages aux bâtis dans une même unité, afin de pouvoir établir des comparaisons et des sommations.

La caractérisation des sinistres dans le domaine assurantiel

De même que les dommages peuvent s'exprimer selon une valeur médiane ou une valeur maximaliste représentative de l'aléa, **la tarification d'une souscription à une assurance** est fonction [24] :

- du sinistre maximal possible : “celui qui intervient sans aucune intervention de défense possible”,
- du sinistre raisonnablement envisageable : “celui qui survient compte-tenu des moyens automatiques et des moyens de secours efficaces”.

Une fois que la crise est survenue, il faut considérer avec prudence **les déclarations de sinistres à des fins d'indemnisation ou d'aides** [72]. En l'occurrence, il y a souvent des biais d'estimations :

- dans un sens : sous-estimation par les organismes de secours, applications de seuils et de franchises et par des particuliers peu avertis,
- comme dans l'autre : en particulier, surestimation par les particuliers voulant s'assurer de “rentrer” dans les tranches d'indemnisation.

Quelques chiffres

En France, **les tendances actuelles dans le domaine de l'assurance des risques** (naturels, technologiques) sont les suivantes (source : *Documents communiqués par l'A.P.S.A.D.* – Assemblée Plénière des Sociétés d'Assurances et de Dommages, *in* [87]) :

- **l'évolution des primes et la charge des sinistres** : on note une augmentation des primes (elle est due au nombre croissant de souscriptions de contrats d'assurance, et de manière indirecte à l'inflation) et une très grande fluctuation de la charge des sinistres en fonction des années et des catastrophes subies ;
- **la répartition des indemnités allouées** : en 1993, le profil est le suivant : 58% aux entreprises (contre 49% de contribution – les entreprises souffrent en effet des pertes matérielles, mais également d'un blocage d'activité), 40% aux particuliers et 2% aux agriculteurs ;
- **le sinistre moyen versé par catégorie d'assurés** : entre 1984 et 1993, il est de l'ordre de 100 kF pour les entreprises et de 15 à 30 kF pour les particuliers et les agriculteurs : l'évolution croissante des sinistres moyens pour les entreprises reflète le développement de la garantie “pertes d'exploitation”.

Les données d'assurance permettent également de faire des comparaisons de sinistres à l'échelle mondiale [16]. Toutefois, l'évaluation des dommages sur la base des biens assurés est restrictive, car les P.V.D. (Pays en Voie de Développement) et les pays du Tiers-Monde ont des régimes assurantiers très peu développés.

A titre indicatif et en marge du propos de cette partie, nous proposons ici quelques chiffres sur **la répartition catégorielle des grands sinistres et catastrophes** (supérieurs à 20 victimes ou à 130 millions de francs) **entre 1970 et 1980** :

- on compte en moyenne 90 grands accidents urbains dans le monde par an : la moitié est due aux phénomènes naturels (inondations, séismes, ouragans), le tiers est dû à des accidents technologiques et le reste est dû à des accidents de réseaux ou de transports,
- on constate une tendance à une grande fréquence de catastrophes naturelles, à l'exception de l'Europe qui reste plus marquée par les accidents industriels.

En termes de victimes, les pays touchés sont essentiellement ceux du Tiers-Monde. Une écrasante majorité de victimes est due aux risques naturels.

En termes de dommages matériels, l'évaluation est faite à partir des données assurantielles : la répartition des dommages est moins contrastée – on constate toujours une dominance des catastrophes naturelles, mais cette tendance s'inverse si l'on se restreint aux villes européennes.

Règlementations sur la prise en compte des sinistres par l'État, les collectivités et les assurances

La gestion de l'après-crise et notamment le choix du montant et de la répartition des indemnités nécessite une action conjointe :

- d'une part de l'État et des collectivités en matière de législation, d'administration et d'indemnisation ;

- d'autre part des assurances en matière d'indemnisation, exclusivement dans le cadre de contrats d'assurance.

Les procédures d'indemnisation

La loi du 13 juillet 1982 définit **le cadre d'indemnisation des dommages rentrant dans le contexte des catastrophes naturelles**. La notion légale de catastrophe naturelle repose conjointement sur les notions d'anormalité et d'inassurabilité (l'intensité anormale du phénomène naturel engendre un état de catastrophe, dont l'importance des dommages occasionnés est reconnue comme inassurable). Cette loi illustre bien le rôle conjoint de l'État (législateur) et des assurances (payeurs) [87]. Dans ce contexte, les assureurs ont désormais eu à instruire et analyser les sinistres vérifiant les conditions nécessaires et suffisantes suivantes :

- conditions nécessaires :
 - un événement naturel doit être la cause déterminante du sinistre,
 - le phénomène doit présenter un caractère anormal et imprévisible ;
- conditions suffisantes :
 - la notification d'un Arrêté Interministériel reconnaissant événement à caractère de "Catastrophes Naturelles",
 - l'existence d'un contrat d'assurance de choses couvrant les biens endommagés.

Après une catastrophe naturelle, **l'ensemble des démarches à effectuer à la suite d'un sinistre** nécessite la bonne coordination des collectivités (fonction organisationnelle), de l'État (législateur + payeur) et des assurances (payeurs). Ces démarches sont les suivantes [31] :

- pour l'assuré :
 - l'assuré doit déclarer le sinistre à la mairie et à l'assureur dans un délai de 5 jours,
 - dans les 10 jours suivant l'arrêté de "Catastrophe Naturelle" et si cela n'a pas déjà été fait lors de la déclaration du sinistre, l'assuré doit fournir un descriptif de l'état estimatif des pertes et des pertes d'exploitation (30 jours pour ces dernières) à son assureur,
 - l'assureur est tenu de verser les indemnités dans un délai de 3 mois.
- pour les collectivités locales :
 - la mairie constitue dans les 15 jours un descriptif et une estimation globale des dégâts (questionnaire transmis par circulaire du 21 mai 1995) à destination de la préfecture,
 - les services préfectoraux transmettent à la Direction de la Sécurité Civile du Ministère de l'Intérieur le dossier de reconnaissance de catastrophe naturelle dans un délai de 1 mois après le sinistre,
 - l'état de catastrophe naturelle est éventuellement reconnu dans certaines communes par arrêté interministériel et publié au J.O.

La part des assurances dans la prise en charge des risques naturels

Les données et méthodes employées par les assurances sont une mine d'informations pour entreprendre une évaluation économique des dommages potentiels (anticipation) ou subis (bilan).

En France, les données assurantielles pour l'évaluation des dommages à la suite de risques naturels sont rares. De fait, la politique française en matière de risques est très centralisée autour de l'État. Par force de lois au cours des deux dernières décennies, l'État français est beaucoup intervenu en matière de subventions pour la réparation des dommages à la suite de catastrophes naturelles, diminuant d'autant le rôle d'appui des assurances (cf Tableau 41). Jusqu'à présent, celles-ci couvraient seulement une grande part des dégâts dus aux tempêtes. La tendance de la politique actuelle favorise le développement des actions de prévention par mesures légales (entre autre : plans de prévention, prescriptions, réglementations, etc.) et aussi par une plus grande implication des assurances dans la couverture des risques naturels.

Incendie	36,2%
Dégâts des eaux	24%
Tempête, neige	4%
Responsabilité civile	10%
Domaine électrique	3%
Vol	19%
Divers	3,8%
Total	100%

Tableau 41 : répartition des pertes matérielles assurées en France dans les années 80 (source : [16])

Les pays anglo-saxons fonctionnent au contraire avec un régime très axé sur le domaine privé, donc beaucoup plus assurantiel. Pour illustration, le Tableau 42 donne les contributions relatives des prises en charge des dommages pour de grandes catastrophes survenues en Australie.

événement	année	gouvernement	assurances	parties affectées	dons
inondation de Brisbane	1974	22%	39%	37%	2%
inondation de Nyngan	1990	65%	9%	9%	17%
incendies dans l'état du Sud de l'Australie	1983	31%	31%	31%	7%
incendies dans l'état du NSW	1994	21%	33%	38%	8%

Tableau 42 : contributions relatives des prises en charge des dommages pour 4 catastrophes naturelles en Australie (source : [79])

Quelques commentaires à propos du Tableau 42 [79] :

- La forte contribution des assurances pour l'inondation de Brisbane provient du fait que les 2/3 des dommages ont touché industries, commerces, véhicules et bateaux (tous plus ou moins couverts par l'assurance).
- La contribution sous forme de dons est fortement influencée par la médiatisation de la catastrophe.
- La contribution du gouvernement peut être augmentée sous des pressions du public et de campagnes électorales. Elle se répartit en moyenne en 70 à 75 % pour le gouvernement fédéral, 25 à 30% pour le gouvernement de l'État, et moins de 1% pour l'autorité locale (en Australie, cette dernière est en effet plafonnée par la loi à une contribution de 25000\$).

Nous retiendrons de ce tableau les niveaux comparables de contribution entre les assurances et l'État pour l'Australie. Il n'est finalement pas étonnant si de nombreuses actions de recherche dans le domaine des risques naturels sont actuellement conduites par les assurances en Australie.

Un exemple de chiffrage d'un sinistre

La quantification économique des dommages reflète bien **le recensement des biens privés et publics touchés** par les efforts conjoints des collectivités et des assurances. Afin de donner quelques ordres de grandeur, nous fournissons ici les premières estimations des dommages à la suite de la crue du Tarn des 7 et 8 décembre 1996 à Montauban (60000 habitants), réalisées à partir des déclarations de sinistres [31].

Pour donner un ordre de grandeur, les inondations dont il est ici question ont atteint 9m50 sous le pont principal de la ville et exigé le pompage de 700 millions de litres d'eau. Les dommages économiques sont recensés dans le Tableau 43.

Domaines touchés	Remarques	Estimation du préjudice en kF
Habitations privées	566 dossiers de sinistres	68000
Bâtiments publics	13 dossiers de sinistres	445,3
Entreprises	3 entreprises – <i>source</i> : Chambre de Commerce et d'Industrie	20000
Commerces & artisans	30 entreprises commerciales sinistrées (surface de 35000 m ²) – <i>source</i> : Chambre de Commerce et d'Industrie + 30 artisans sinistrés – <i>source</i> : 64 dossiers de la Chambre des Métiers	38000
Exploitations agricoles	15 dossiers de sinistres	4300
Domaine public et communal	Pas d'évaluation sur le Musée, une école et sa chaussée attenante	10275 (installations sportives) + 655 (eau et assainissement) + 2135 (autres installations)
Voirie communale	Estimation partielle	5500 (voirie) + 300 (éclairage public) + 200 (mobilier urbain)
Remise en état	Nettoyage, enlèvement des embâcles, nettoyage des réseaux, désinfection, enlèvement des déchets et des produits polluants, location du matériel, remise en état des fossés-mères et des exutoires, coût de la main d'œuvre	7700

Tableau 43 : répartition économique des dommages suite à la crue du Tarn des 7 et 8 décembre 1996 à Montauban (source : [31])

Ces données peuvent se résumer selon deux totaux :

- total sur le domaine public : 26790 kF,
- total sur le domaine public ainsi que sur les habitations privées, les entreprises, les bâtiments publics, les commerces et artisans, les exploitations agricoles : 134600 kF.

Synthèse

Les assurances et l'État (à plusieurs échelons) ont des rôles bien précis à jouer dans la réglementation du risque, depuis ses aspects préventifs jusqu'à l'allocation des indemnités. Alors que l'État dicte des prescriptions et des réglementations strictes pour prévenir entre autre de l'augmentation de la vulnérabilité dans des zones dangereuses, les assurances se positionnent directement dans une logique d'état de fait et établissent des contrats de garantie à partir de données d'archives et de fonctions et tables d'endommagement.

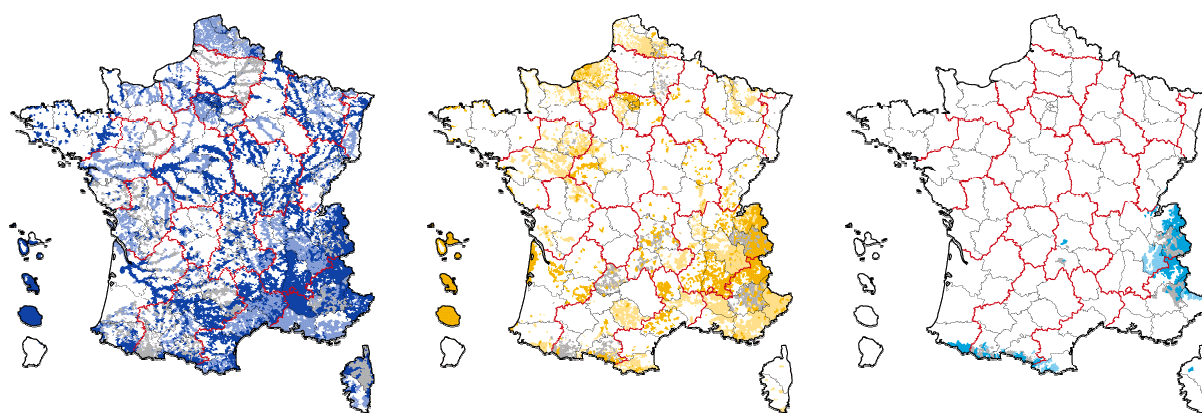
Les rôles de l'État et des assurances convergent lorsque la catastrophe est survenue : les fonctions d'organisation, de centralisation et de réglementation sont remplies par les administrations locales et nationales tandis que la facture est rigoureusement établie et prise en charge par l'État (sous formes d'indemnités) et par les assurances (selon les termes des contrats).

L'information géographique dans les études de risques

Introduction

Un des problèmes posés par l'étude des risques est sans doute la complexité de l'intégration des aspects temporel et spatial du risque.

La composante spatiale joue d'abord un rôle d'un point de vue descriptif. S'agissant de recenser sur une carte les communes menacées par les risques naturels (cf Carte 3), on dénombre par exemple 7500 communes pour le risque d'inondations, 3000 communes pour le risque de mouvements de terrain et 400 communes pour le risque d'avalanches.



Nota : le dégradé de couleur nuance l'importance des enjeux relevés

Carte 3 : localisation des communes soumises aux risques d'inondations, de mouvements de terrain et d'avalanches (source : [73])

La **cartographie** est l'application la plus naturelle de la géographie, et elle appelle elle-même à être adaptée aux multiples aspects de la gestion des risques (identification, information, réglementations, prescriptions...), et ce, à tous les échelons (de la collectivité au niveau national).

D'un point de vue local, le développement urbain questionne de nouveau fortement la façon de **cartographier les risques** et de **concevoir et utiliser les systèmes d'information nécessaires**. A cette échelle, l'information géographique est utilisée fréquemment au sein de S.I.G. Si les applications associées sont relativement simples et limitées aux risques naturels et routiers, les facteurs spatiaux intervenant dans les risques sont nombreux et variés. Ils concernent [52] :

- les densités humaines, les voies de communication, les réseaux divers et la répartition des ressources en termes d'enjeux,
- les formes d'occupation des sols comme facteur de propagation des effets,
- la sensibilité de l'opinion publique aux éléments susceptibles d'être endommagés selon leur nature.

En matière de risques urbains, les gestionnaires sont particulièrement confrontés au problème du "transfert de risque" selon lequel la modification de l'aspect géographique d'un risque ne fait que reporter le problème. Par exemple, la délocalisation d'une usine trop proche des populations alourdit l'activité de transport et transforme le risque technologique en risque de transport de matières dangereuses.

Plus formellement, l'approche spatiale et géographique des risques nécessite une **conceptualisation du territoire** et des **travaux de modélisation** pour analyser et expliquer les phénomènes mis en jeu.

En particulier, la **prise en compte des réseaux** (approvisionnements, communications, informations...) laisse également un large champ d'études à la géographie du risque. L'aspect spatial sous-jacent concerne aussi bien l'interaction des réseaux entre eux (aspect interne) que l'interaction des réseaux avec l'environnement (aspect externe) [100].

La cartographie du risque

L'analyse des besoins en matière de cartographie du risque repose sur [50] :

- les missions d'aménagement du territoire, liées aux politiques de gestion du risque, aux missions d'alerte et à l'organisation des secours ;
- les besoins opérationnels de gestion allant de l'analyse au rendu public des informations.

Ces besoins se traduisent à différentes échelles de gestion, comme nous allons le voir maintenant.

La carte comme outil de représentation du risque

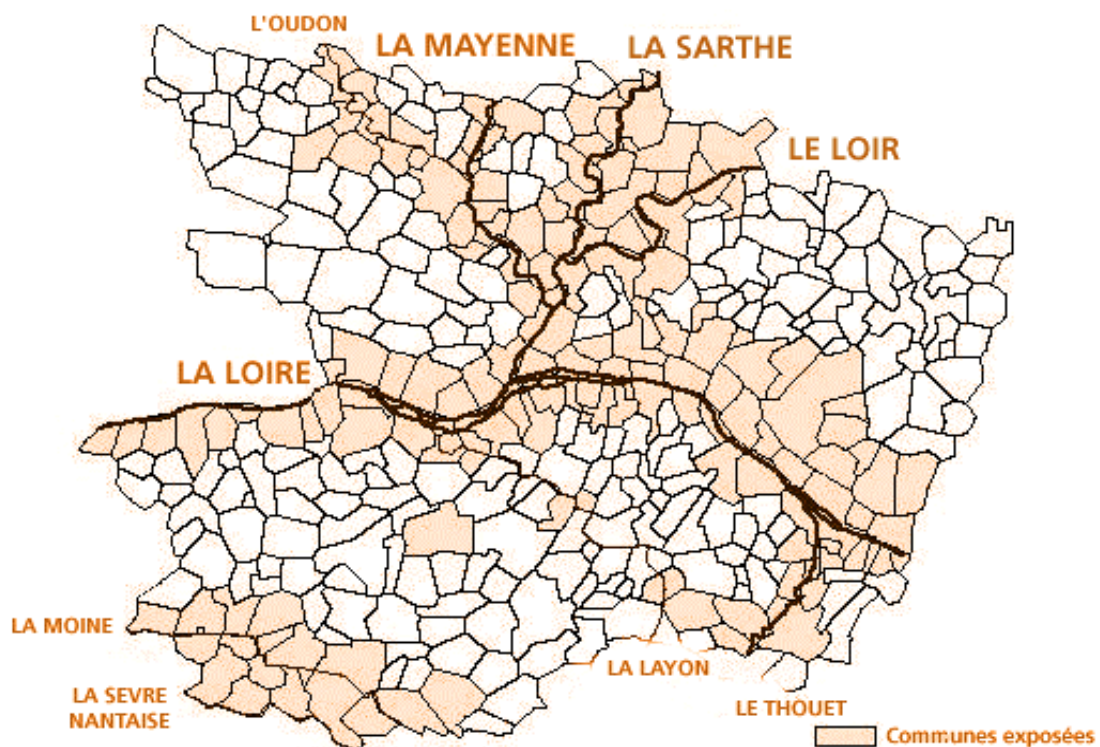
La première et la plus simple utilisation des outils géographiques dans l'étude des risques reste la représentation cartographique. Quelles que soient les méthodes d'analyse du risque employées, il s'agit bien souvent d'un zonage réalisé à partir de données d'archives, des résultats de recherche sur l'aléa du phénomène ou de la vulnérabilité et de la valeur des enjeux répartis sur le territoire.

Il n'existe pas de cartographie type : la représentation dépend bien entendu de l'usage que l'on souhaite faire de la carte.

Carte d'identification des risques

Dans ce registre, le type de carte de risque le plus banal reste le recensement pur et simple des risques identifiés sur la zone d'étude [33].

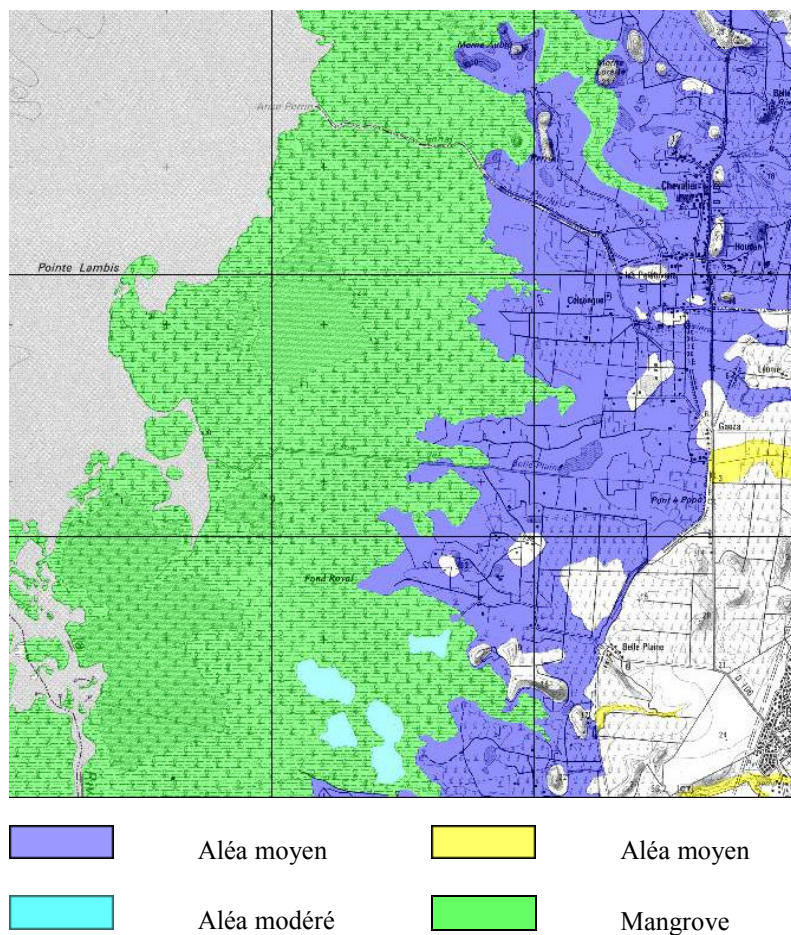
Par exemple, la Carte 4 liste les communes de Maine-et-Loire concernées par le risque d'inondation.



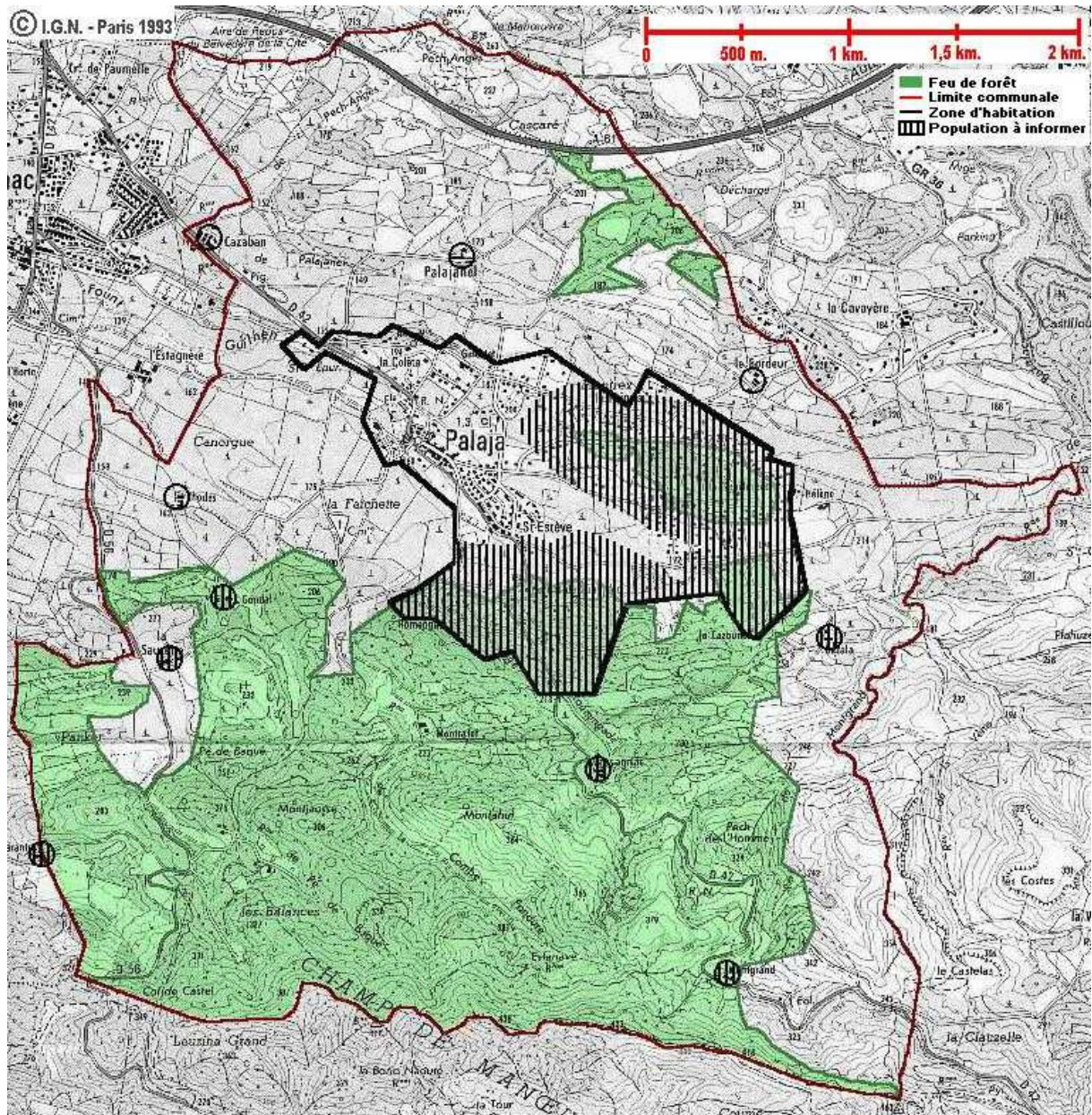
Carte 4 : communes du Maine-et-Loire exposées au risque inondation (source : [93])

Carte de l'aléa

La cartographie est également utilisée pour décrire l'aléa. Ce mode de représentation est certainement le plus utilisé dans le domaine de la cartographie du risque. Classiquement, l'aléa est découpé en valeurs discrètes (faible, moyen, fort, etc.), adaptées à l'usage de plages de couleurs comme le montrent la Carte 5, la Carte 6, la Carte 7 et la Carte 8.

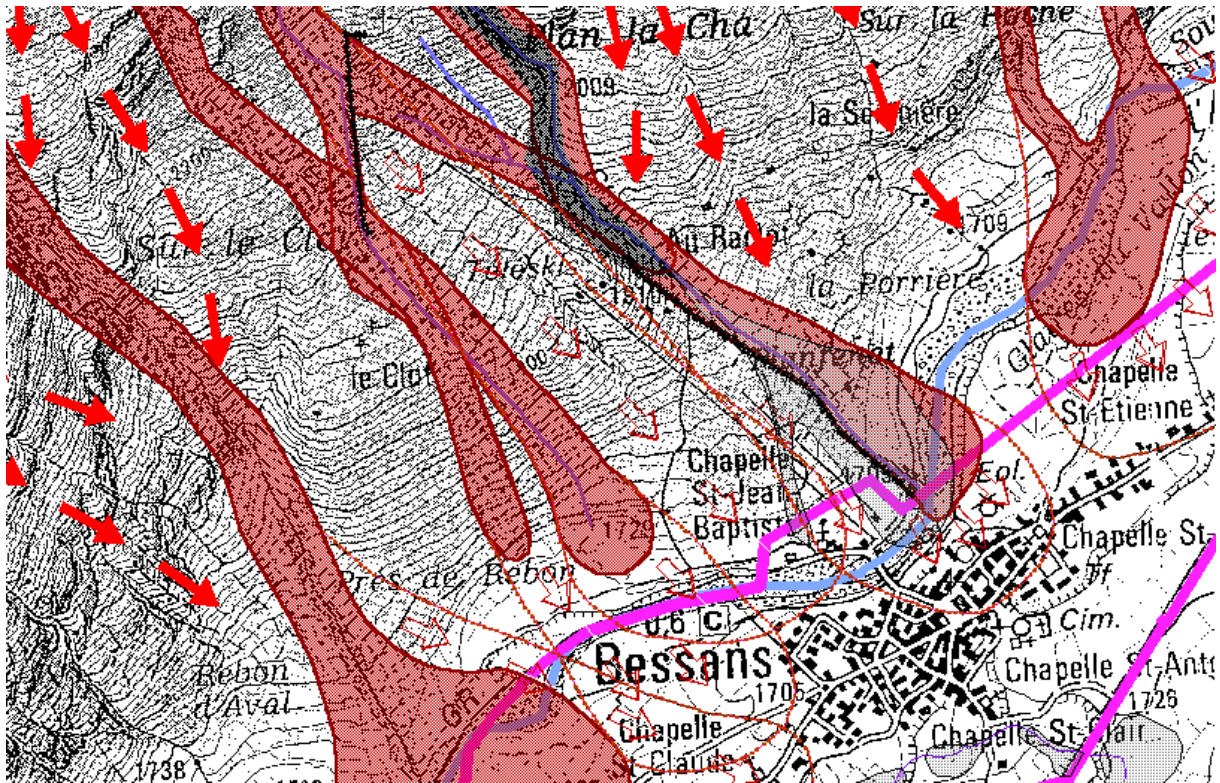


Carte 5 : exemple de zonage de l'aléa d'inondation dans la commune des Abymes, au nord de Pointe-à-Pitre en Guadeloupe – carte réalisée à partir du fond topographique I.G.N. SCAN 25 (source : Atlas communal des risques naturels de la Guadeloupe proposé par le BRGM sur Internet – <http://www.brgm.fr/risques/antilles/> in [33])



Nota : les zones soumises à l'aléa apparaissent en grisé tandis que sont hachurées les zones où doit être réalisée l'information préventive auprès des populations.

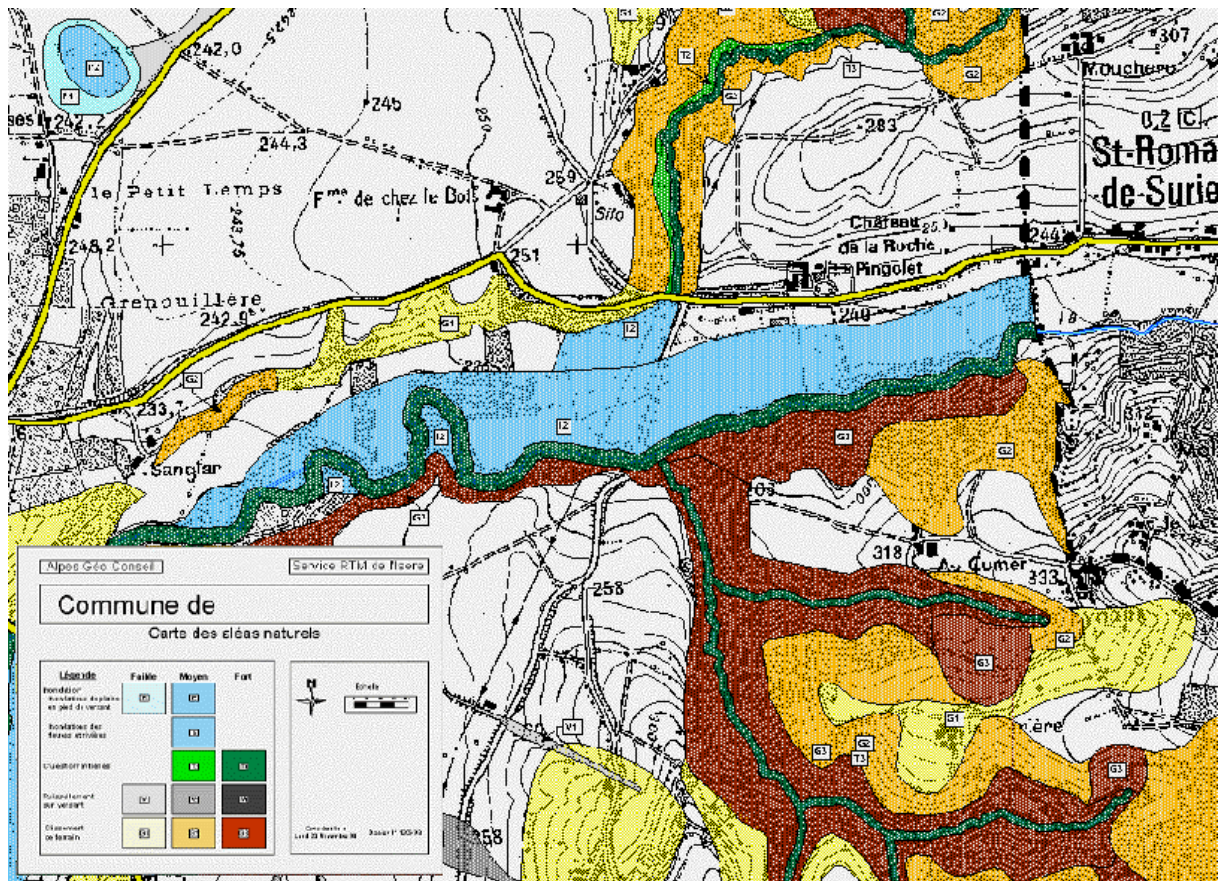
Carte 6 : zonage de l'aléa de feux de forêt dans la commune de Palaja (Aude) (source : [91])



Nota :

- en couleurs apparaissent les coulées principales de neige,
- en flèches pleines apparaissent les coulées secondaires de neige,
- en flèches vides apparaissent les zones soumises au souffle.

Carte 7 : zonage de l'aléa d'avalanches dans la commune de Bessans (Savoie) (source : [3])



Nota : la carte renseigne sur les différents niveaux d'aléa à l'aide de dégradés de couleurs

Carte 8 : zonage de l'aléa pour différents risques dans la commune de Saint-Romain-de-Surieu (Isère) (source : [3])

Les cartes uniquement focalisées sur la composante aléa du risque obligent le lecteur à reconstruire la variable vulnérabilité à partir d'éléments de la légende ou d'autres documents. Ainsi, la carte ne permet absolument pas de caractériser à elle seule le risque. De ce fait, il serait intéressant de pouvoir représenter conjointement les deux composantes aléa et vulnérabilité sur une même carte [33].

Carte de la vulnérabilité et carte des enjeux

En matière de vulnérabilité et d'enjeux, la cartographie se positionne également comme un outil de description et d'information. En pratique, les autorités sont amenées à établir une cartographie synthétique :

- des dommages déplorés à la suite d'une catastrophe (bilan post-crise),
- des dommages potentiels à partir de données d'archives dans une démarche préventive (document d'information fondé sur le retour d'expérience).

L'intégration des données au sein d'un S.I.G. permet d'effectuer des traitements et de "faire parler la carte".

Nous citerons à titre d'exemple :

- L'atlas des désastres en Amérique Centrale réalisé sous l'égide de l'U.S.G.S. (United States Geological Survey) après le passage de l'ouragan Mitch fin octobre 1998 [37]. Cet atlas est réalisé sur S.I.G. à partir d'une base de données sur les désastres issues d'archives. Il est distribué aux pays menacés et aux agences internationales pour aider l'organisation des secours, de l'assistance et des opérations de reconstruction. Un tel outil peut également conduire à des analyses plus poussées comme par exemple l'analyse prospective de la vulnérabilité : partant d'une représentation de l'aléa comme événement le plus probable de survenir dans les zones considérées (c'est-à-dire un scénario), les potentialités des

S.I.G. peuvent aider à estimer les effets des catastrophes et à ainsi à prévoir la planification de la gestion de crise.

- L'atlas des effets de la tempête du 26 décembre 1999 sur les espaces boisés et forêts de la région Ile-de-France, réalisé par l'I.A.U.R.I.F. (Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France) [37]. Cet atlas regroupe un ensemble de doubles-pages présentant des surfaces de 20 km² avec photos aériennes de l'été 1999, de janvier 2000 et une carte représentative des dégâts divisés en 4 classes selon le pourcentage d'arbres abattus (plus de 90% / de 50 à 90% / de 10 à 50% / moins de 10%). L'ambition d'un tel document est d'évaluer l'ampleur des dégâts, d'informer les élus locaux, les propriétaires privés et le grand public, et d'amorcer des analyses ultérieures pour l'aide à la reconstruction et à la sauvegarde des espaces boisés, à destination des organismes publics comme des privés.
- Le S.I.G. pour l'estimation des dégâts subis par les exploitants agricoles lors des crues de la mi-novembre 1999 dans le département de l'Aude, mis sur pied par l'A.D.A.S.E.A. (Association Départementale pour l'Aménagement des Structures des Exploitations Agricoles) et le Syndicat du Cru Fitou [37]. Sur fond cadastral numérisé, l'outil décrit et analyse le détail des objets endommagés (parcelles, cours d'eau, surfaces viticoles, et, plus précisément : murs, bois, chemins, fossés, etc.). L'objectif est de déterminer avec précision les parties du vignoble les plus touchées, d'estimer la qualité et la quantité des cépages perdus, et à terme d'élaborer une stratégie de restructuration agronomique et économique du vignoble en prenant en compte les investissements et le facteur géographique.

En Australie, le N.H.R.C. (Natural Hazards Research Center) propose l'élaboration d'un SIG à la frontière des apports descriptifs et analytiques de la géographie [79]. Grâce aux compagnies d'assurance, cet organisme dispose d'une base de données sur les dommages d'habitations (type, importance et localisation) à la suite de catastrophes naturelles. L'objectif est de produire des courbes de dommages pour les bâtiments résidentiels à partir de ces données d'archives et en incluant la dimension spatiale. Pour chaque aléa naturel, l'indicateur retenu est le fameux P.M.L. (Probable Maximum Losses = dommages maximums possibles). L'estimation se fait en analysant les phénomènes du type considéré survenus dans le passé et en regardant le degré d'endommagement des bâtiments. Les caractéristiques des bâtiments non endommagés fournissent aussi beaucoup d'informations.

Il s'agit en particulier de :

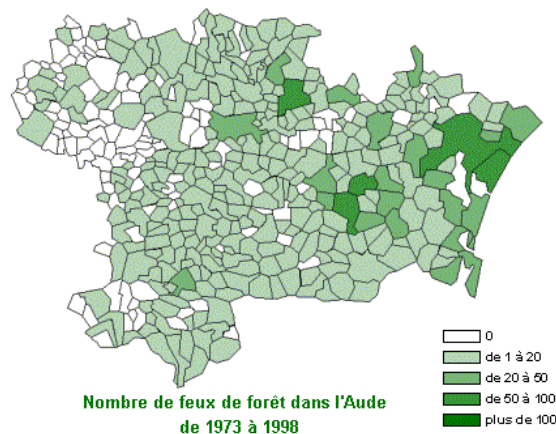
- déterminer la distribution des dommages en termes de pourcentage de la somme totale assurée et des polices d'assurances impliquées,
- de repérer les bâtiments touchés, de les représenter sur S.I.G. par géocodage et d'identifier les facteurs de vulnérabilité,
- d'établir des relations entre ces facteurs et le coût des dommages,
- de développer des relations entre dommages et caractéristiques du phénomène (par ex. la taille maximum des grêlons pour une tempête de grêle) afin d'établir les courbes d'endommagement.

Dans ce type de méthode, la description des événements dommageables permet, par le biais des outils fournis par les S.I.G., de dégager des informations sur les modes d'endommagement des entités menacées et, plus généralement, sur la vulnérabilité des espaces.

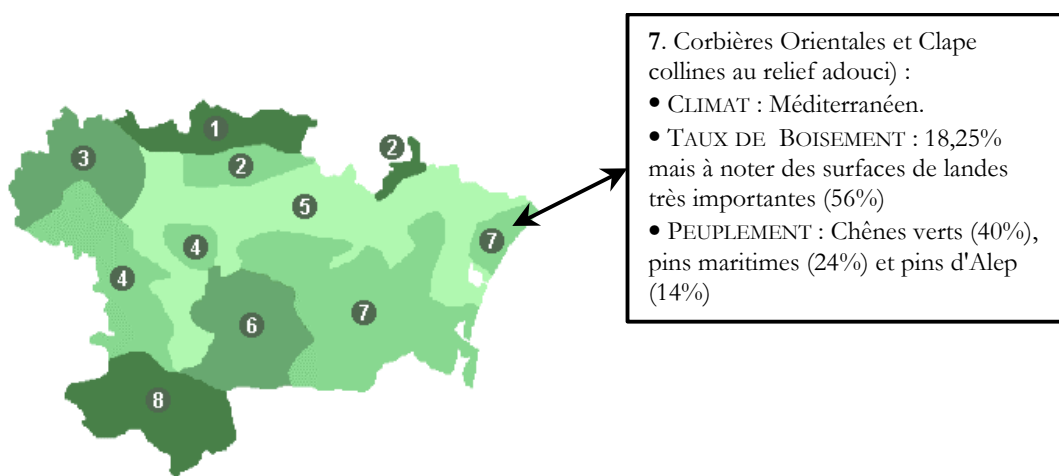
Une carte du risque ?

En l'absence de schémas cartographiques universels pour représenter simultanément aléa et vulnérabilité sur un même document (et pour cause : la variété des situations à risque nécessiterait une étude au cas par cas !), le géographe est souvent amené à fournir côte à côte les cartes d'aléa et de vulnérabilité, à partir desquelles le niveau de risque doit être déduit [33].

La Carte 9 et la Carte 10 recensent l'aléa et la vulnérabilité pour le risque de feu de forêt dans le département de l'Aude (en réalité, la carte de vulnérabilité recense les différents peuplements forestiers présents sur le département : derrière chaque numéro se trouve une fiche caractérisant la zone – cf l'exemple de la zone 7).



Carte 9 : cartographie de l'aléa du feu de forêt dans les communes de l'Aude (source : [91])

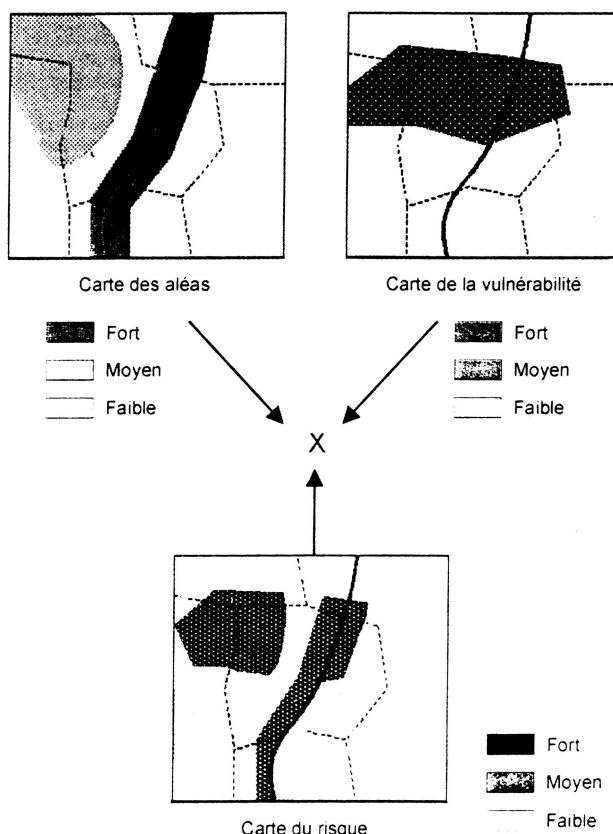


Carte 10 : cartographie des huit zones forestières du département en termes de "vulnérabilité" (source : [91])

Cependant, les représentations adoptées ici ne permettent pas de quantifier de manière efficace le risque [33] :

- la vulnérabilité est mal définie : on n'est pas renseigné sur la "valeur" de chaque peuplement (d'ailleurs, quel doit en être le sens ?), et finalement, la carte n'est abordable que par des spécialistes, pour un contexte donné,
- le découpage communal est très hétérogène et inadapté à la comparaison du nombre de feux de forêt pour deux surfaces très différentes,
- les deux cartes d'aléa et de vulnérabilité n'ont pas des découpages superposables, ce qui complique la comparaison des niveaux observés afin de quantifier le risque.

Dans certains cas, il est envisageable de cartographier le risque par croisement spatial des champs aléa et vulnérabilité, de la même manière que l'on quantifie le risque par une clé de détermination (cf Tableau 11). La combinaison des valeurs d'aléa et de vulnérabilité aboutit ainsi à un découpage plus fin du territoire, intégrant les deux composantes du risque selon la règle choisie (cf Carte 11).



Carte 11 : le risque, combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité (source : [69])

Ce type de méthode présente cependant les mêmes défauts que ceux évoqués pour la détermination du risque par croisement de l'aléa et de la vulnérabilité :

- l'opération d'agrégation ne permet pas de "remonter" aux informations relatives aux deux composantes,
- la carte symbolise de la même manière les risques d'aléa fort et de vulnérabilité faible d'une part, et les risques d'aléa faible et de vulnérabilité forte d'autre part, alors que ces deux types de risques seront envisagés de manière différente par les acteurs de la prévention sur le territoire.

Synthèse

Le document cartographique permet de transcrire les effets et conséquences des phénomènes physiques redoutés. Il met le mieux en évidence la situation de risque naturel d'une portion de territoire et peut donc contribuer aux diverses actions à entreprendre.

Les facilités offertes par la carte présentent cependant deux écueils [50] :

- d'une part, il est bien entendu qu'une simple cartographie de l'aléa ne suffit pas à quantifier le risque : c'est hélas ce qui se passe lorsque les aménageurs et décideurs ne disposent que d'un zonage de l'aléa après une inondation, sous la forme d'une étendue de la zone inondée ;
- d'autre part, il ne faut pas se limiter au simple aspect documentaire d'une carte des aléas ou de la vulnérabilité, mettant le doigt sur les points sensibles du territoire sans pour autant amorcer des solutions en terme de gestion du risque.

La carte comme outil d'information, de formation et de documentation autour du risque

La cartographie du risque est caractéristique de sa mission d'information. Elle nécessite [50] :

- une iconographie administrative (plus adaptée qu'un zonage d'aléa),
- une échelle d'au moins 1/100000^{ème},
- une exploitation exhaustive de la "mémoire du risque" (les informations historiques),
- une adaptation aux études de risques réalisées sur de grandes zones administratives (type commune) et quantifiant le risque : l'importance (faible/moyen/fort) et éventuellement l'enjeu (agricole/industriel...).

Facilitant la retranscription, l'archivage et la mise à jour de l'information, elle constitue un support adapté pour "dire le risque" à tous les échelons géographiques et administratifs, de l'État à la collectivité locale [50]. Le lecteur trouvera en Annexe 4 le détail de la mise en œuvre d'un projet de cartographie informative sur les risques d'inondations dans la région Midi-Pyrénées [32].

La carte comme aide à la réglementation

La cartographie est bien présente dans les domaines de la réglementation et de l'élaboration de documents d'urbanisme, en premier lieu au sein de la procédure de P.P.R.

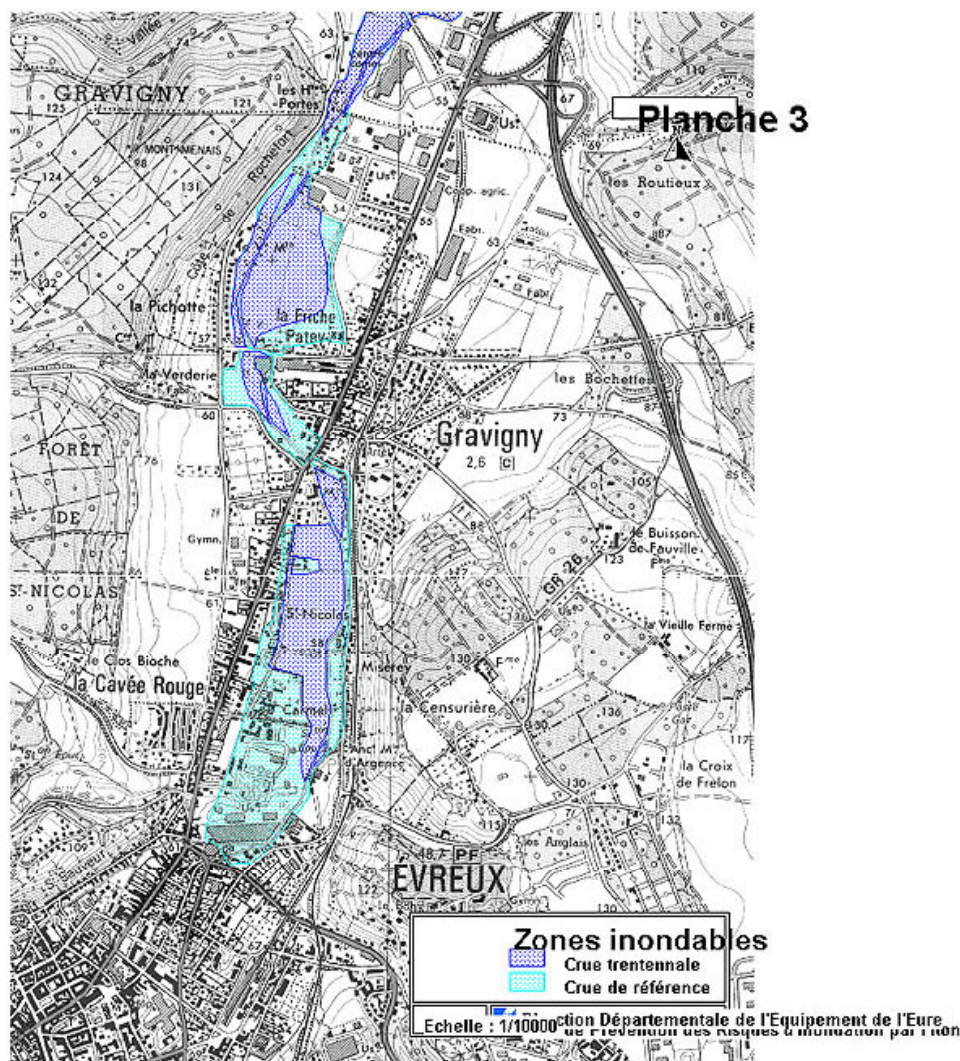
Depuis 1995, le P.P.R. (Plan de Prévention des Risques institué par la loi du 2 février 1995 pour le renforcement de la protection de l'environnement) se substitue au P.S.S. (Plan de Surface Submersible), au P.E.R. (Plan d'Exposition aux Risques) et au P.Z.S.I.F. (Plan des Zones Sensibles aux Incendies de Forêt), abrogés par décret le 5 octobre 1995 [44]. Il est prescrit et approuvé par le préfet et annexé au P.O.S. Il réunit règlement et documents graphiques, issus avant tout d'une approche qualitative.

Il intègre en particulier :

- la carte informative des phénomènes naturels,
- la carte des aléas (issu par exemple de la plus forte crue connue au moins centennale pour le risque d'inondations),
- la carte des enjeux,

rédigées sur un fond de plan topographique au 1/25000^{ème} agrandi au 1/10000^{ème} (cf Carte 1). Ce document peut être accompagné d'études supplémentaires à la charge des communes.

Bien souvent, une première étude conduit à construire une carte réglementaire à partir d'un simple zonage de l'aléa, à l'image de la Carte 12. En l'occurrence, le lecteur peut avoir une idée de la vulnérabilité en observant les bâtis et l'occupation des sols, mais ces informations sont loin de dispenser d'une analyse propre de cette composante.



Carte 12 : emprises spatiales des différentes crues dans la commune de Gravigny, département de l'Eure
(source : <http://www.eure.equipement.gouv.fr> in [33])

A titre d'exemple également, l'Annexe 4 présente selon une démarche rigoureuse l'élaboration d'une cartographie règlementaire pour la prévention des risques d'inondations dans la région Midi-Pyrénées [32]. Ce projet s'inscrit dans le prolongement de la cartographie informative que nous venons d'évoquer dans le paragraphe précédent.

Parce qu'elle est avant tout un outil d'aménagement du territoire, la cartographie règlementaire est élaborée en vue d'être confrontée directement avec les documents d'urbanisme qu'elle va contribuer à modifier. Elle exige donc :

- une échelle d'étude comprise entre le 1/2000ème et le 1/5000ème,
- une connaissance précise des aléas.

Plus formellement, l'instauration de règlements est issue d'une réflexion sur la confrontation des aléas et de l'occupation des sols.

Pour une carte des aléas à intégrer dans un P.O.S., la démarche est simple : à chaque aléa correspond un règlement-type, et on n'a donc pas de carte règlementaire séparée ; il est cependant réalisé un tirage de la carte d'aléa sur un fond cadastral, pour une meilleure transcription dans le P.O.S. [3]

Pour un P.I.G., l'objectif est de définir des périmètres de risques à l'intérieur desquels seront associées des mesures et des prescriptions, notamment dans les permis de construire. Pour le risque industriel, le P.I.G. délimite ainsi (cf Carte 13) [35] :

- une zone Z1 où toutes les constructions sont interdites sauf les bâtiments nécessaires à l'industrie implantée dans la zone ;
- une zone Z2 où toute construction nouvelle à usage d'habitation est interdite ;
- une zone Z3 sans consignes particulières.



Carte 13 : exemple de carte issue d'un P.I.G. pour un risque industriel (source : [35])

Pour un P.P.R., on peut différencier, pour un même aléa, le règlement qui s'y applique en fonction de l'occupation de la zone : ce système permet une adaptation poussée des mesures de protection à chaque cas particulier. Le document comprend alors une carte réglementaire spécifique et le règlement qui s'y rapporte [3]. La Carte 14 est une illustration de réglementation du P.O.S. au niveau cadastral.

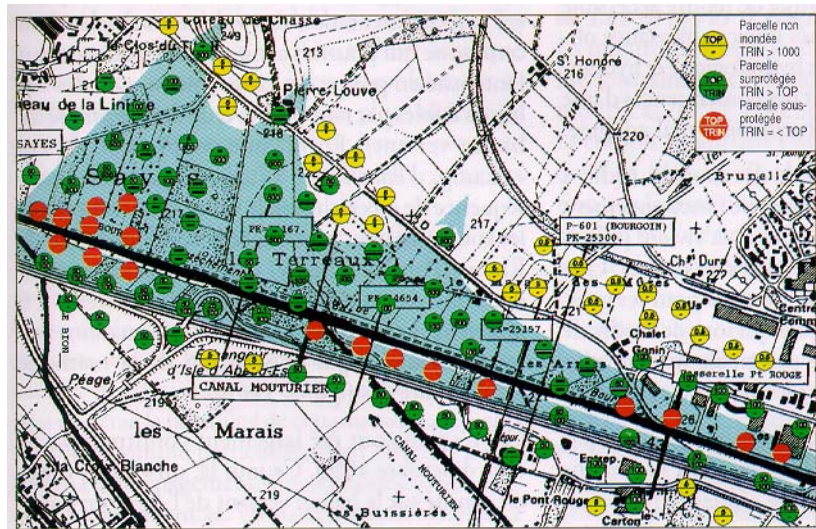


Carte 14 : exemple de réglementation sur les risques sur un support cartographique au niveau cadastral (source : [3])

Ce document à l'échelle cadastrale (1/2500^{ème} par exemple) fait apparaître un zonage détaillé des contraintes appliquées à l'urbanisation allant du non-constructible (N) à la construction libre (pas d'étiquette), en passant par un ensemble de recommandations et de prescriptions décrites dans des fiches

spécifiques rattachées à chaque zone (étiquettes 2.01, 2.04...). L'ensemble de ces mesures constitue le règlement.

En termes d'outils d'aide à la décision, la méthode *Inondabilité* présentée en Annexe 1 fournit un document cartographique adapté à la gestion de l'espace menacé par les inondations. De fait, la carte issue de la méthode réalise un zonage de la commune à risques sur 3 niveaux : les zones sous-protégées, les zones surprotégées et les zones non-menacées par des inondations. La Carte 15 est un exemple de résultat obtenu par la méthode.



Carte 15 : exemple de zonage issu de la méthode *Inondabilité* (source : [47])

Les limites de la cartographie réglementaire résident dans le coût de la modélisation des aléas et de la topographie, et par inférence dans la validité (y compris juridique) de la carte. Le problème est d'actualité avec la généralisation des P.P.R. Inondations, fondés sur la notion de crue centennale – très difficile à déterminer en pratique [50].

Par ailleurs, la cartographie réglementaire fait apparaître des zones floues [14]. Peut-être la réglementation de celles-ci pourrait être résolue par l'intervention des assurances ? En l'occurrence, il faudrait engager la responsabilité des individus et se détacher de la culture déterministe française qui "craint" le risque et se prémunit en conséquence du risque maximal sous couvert d'un État providence. Bien évidemment, les réglementations doivent rester strictes en ce qui concerne l'aléa : elles doivent empêcher que les aménagements nouveaux n'aggravent l'aléa. En revanche, l'État pourrait décharger une part de sa responsabilité sur l'individu, pour des zones "floues", comme c'est le cas aux Pays-Bas où les individus sont informés du niveau de risque de la zone dans laquelle ils sont autorisés à construire (culture probabiliste). Le risque encouru pourrait alors être pris en charge par les assurances...

Enfin, la cartographie réglementaire gagnerait à être adaptée à l'élaboration de recommandations et de prescriptions. En ce sens, elle se situerait à un niveau intermédiaire entre le maillage fin de l'approche réglementaire et l'étude iconographique relative à l'information, la formation et la documentation. Il s'agirait alors de déterminer à l'échelle nationale ou régionale les entités géo-socio-économiques soumises aux risques naturels et appelant des recommandations et prescriptions [50].

Cette démarche impliquerait :

- le zonage des entités considérées,
- l'identification du niveau de risque potentiel, par type de risque,
- l'existence ou non de prescriptions ou recommandations spécifiques.

Exemple d'application : la localisation des campings avec identification et quantification des risques, assorties d'un état des lieux des prescriptions formulées, du type "plan d'évacuation d'urgence".

Synthèse

Bien souvent, les acteurs ne disposent pas de la bonne carte au bon moment (“trop de cartes tue la carte”). L'usage de cartes ne peut supplanter la démarche de gestion des risques et d'aménagement : elle est là pour appuyer. En réalité, les méthodes globales de gestion des risques naturels quantifiant et croisant aléa et vulnérabilité sont très rares. Citons pour exemple la méthode *Inondabilité* dont le rôle est bien cantonné (cf Annexe 1). Le document cartographique n'a de sens que s'il est l'aboutissement d'une méthode rigoureuse de gestion, dont la représentation intègre efficacement l'information apportée par plusieurs cartes [50].

La cartographie doit ainsi s'adapter aux utilisateurs et aux utilisations dans le domaine des risques, en permettant [14] :

- la conservation de la culture de la transparence dans la communication des données,
- la mise en œuvre de représentations dynamiques grâce aux possibilités offertes par l'informatique et par Internet,
- la pertinence des représentations grâce à l'apport de la sémiologie et de la symbolisation dans les applications spécifiques “risques”,
- la possibilité de passage d'une utilisation à une autre, par exemple de l'expertise technique (étude des emprises de crues, des probabilités d'occurrence) à la prise de décision (élaboration d'une réglementation, détermination d'un seuil).

La cartographie reste cependant confrontée aux problèmes de représentation de l'incertitude, fondamentalement liée au domaine du risque, mais en désaccord avec la nécessité pour le politique de prendre une décision à partir d'éléments sans zones d'ombre [14].

Quelles que soient les (pistes de) solutions, la cartographie du risque restera un outil d'aide à la décision et non une prise de décision.

L'analyse géographique des risques

Le foisonnement de cartes pour représenter les différentes composantes du risque démontre l'importance de l'aspect géographique et spatial des phénomènes. Au delà des simples représentations cartographiques, les sciences géographiques et l'analyse spatiale permettent d'identifier les territoires associés au risque et les mécanismes spatiaux sous-tendant les phénomènes.

Risques et territoires

La relation risque-territoire

En matière de gestion des risques territorialisés, le champ d'étude est vaste [85] : d'une part, les risques sont territorialisés au sens que leur donnent les ingénieurs qui les étudient (l'échelle d'étude peut aller du niveau local au niveau mondial !), d'autre part, il existe beaucoup de définitions du risque (natures diverses, nombreux aspects et domaines d'étude, etc.). La gestion des risques est d'autant plus cruciale qu'il existe des territoires soumis à des catastrophes inéluctables, comme par exemple la ville de Naples (soumise à la fois au risque volcanique et sismique) dont les habitants ne pourront jamais être tous évacués si une catastrophe survient.

- La notion de “**risque territorialisé**” pose la question de savoir si l'on s'intéresse aux territoires associés à un risque ou bien aux risques associés à un territoire.
- La notion de **territoire** évoque les problèmes de changement d'échelle, de représentation et de superposition de découpages. Il n'est ni homogène, ni isotrope, mais il se transforme avec des inerties culturelles, économiques, etc. (réaction identitaire de la société locale).
- Lorsque la notion de **risque** est définie comme la conjonction entre aléa et vulnérabilité, elle soulève les problèmes relatifs aux incertitudes dans la quantification et à l'évaluation même du risque par croisement aléa × vulnérabilité. Mais parfois, le risque ne possède même pas de définition !

Comment analyser la relation risque – territoire ?

Le territoire est consubstantiel du risque – ou – le risque “déborde” du territoire (par exemple, pour le risque nucléaire, les nuages radioactifs n'ont cure des frontières) : les aspects locaux sont pris dans des logiques globales qui les dépassent.

La “connectivité” entre les notions de territoire et de risque repose sur l'inégalité des territoires face au risque. Il s'agit d'une question d'homogénéité : ni les territoires, ni les phénomènes ne sont homogènes ; les événements ne sont pas régis par les mêmes lois. L'hétérogénéité est évidemment spatiale, mais aussi temporelle (non stationnarité, évolution des phénomènes) et elle nécessite une modélisation et une veille, un suivi actif dans le temps.

Quels modes de représentation envisager pour les risques, afin de faire évoluer la gestion des territoires ?

Des efforts doivent être réalisés pour territorialiser la vulnérabilité (alors que l'aléa pourrait se contenter d'être spatialisé), identifier les territoires. Cependant, la démarche est limitée par l'indépendance des territoires selon chacune des deux composantes aléa et vulnérabilité (blocage dû à la confrontation des découpages territoriaux relatifs à chacune des deux composantes) : typiquement, le risque de feu de forêt ignore le découpage administratif classique.

Il s'agit de trouver des cadres spatiaux pertinents pour l'étude. En particulier, l'emboîtement des échelles d'étude est évident pour l'aléa, mais il existe aussi pour la vulnérabilité (échelle foncière, communale, nationale, etc.). Il s'agit ainsi de trouver des invariants d'échelle, au risque toujours de proposer une synthèse absconse.

Une approche formelle de la dimension géographique du risque : “la territorialisation du risque”

S'agissant d'analyser formellement l'impact de la dimension spatiale dans les études de risques, les aspects géographiques de ces dernières se manifestent par l'hétérogénéité spatiale des faits et données ainsi que par les deux modalités spatiales des phénomènes (à savoir : distinction phénomène diffus / phénomène localisé).

Concrètement, certains lieux sont l'objet de risques récurrents (pollution, risques sociaux...) sans que les politiques de gestion apportent des remèdes. Par ailleurs, “à risques égaux”, différents territoires peuvent présenter des situations tout aussi différentes vis à vis du risque ; par exemple, les tremblements de terre et le délabrement des H.L.M. n'ont pas la même cote auprès du public, même si les menaces qu'ils représentent sont “comparables”. Ces quelques situations trouvent peut-être un début d'explication dans une approche spatiale des phénomènes [80].

L'approche du risque relativement au territoire est une tendance récente de la recherche en géographie. Il s'agit de la “territorialisation du risque” : le territoire peut être partie prenante du risque selon 4 modes : SANS / SUR / AVEC / DANS.

Les logiques du risque SUR le territoire

Il existe deux manières d'appréhender le risque (cf Tableau 44).

Visions du territoire	Prise en compte du risque	Indicateurs et modalités de gestion
Morpho-fonctionnelle	Indice de vulnérabilité + probabilité d'occurrence	Densité Distance, éloignement
Systémique	Régulation des flux	Panne urbaine, “faire circuler”

Tableau 44 : deux visions du territoire (morpho-fonctionnelle / systémique) (source : [80])

- L'approche “morpho-fonctionnelle” décompose le risque en aléa + vulnérabilité : ce sont la densité et la concentration des habitants qui constituent principalement les indicateurs de présence du risque ;

- l'approche systémique définit le risque selon les flux urbains qui font fonctionner le territoire : en particulier, l'excédent de flux provoque l'engorgement (*ex.* : circulation, égouts) tandis que la déficience conduit à la panne (*ex.* : traitement des déchets).

Les logiques du risque AVEC le territoire

Le territoire "est produit à partir de l'espace par les réseaux, circuits et flux projetés par les groupes sociaux" (RAFFESTIN C. : *Pour une géographie du pouvoir*. Paris; Librairie technique, 1980). Cette approche n'est pas vraiment systémique : elle met plutôt en avant le fait que l'idée même de groupes sociaux donne de la consistance au territoire. Le territoire correspond à des lieux d'activités économiques et à un bâti propre, agrémentés de valeurs anthropologiques plus fondamentales qui contribuent à la fabrication de ce territoire.

Les logiques du risque DANS le territoire

Les différentes attitudes face au risque dépendent de la "possession de mouvement", comme le montre le Tableau 45.

	Choix (face au risque)	Non choix (face au risque)
Risque supporté (transcendé)	Transgression	Captivité
Risque pas supporté	Fuite	Expulsion

Tableau 45 : les différentes attitudes du risque perçu DANS le territoire (source : [80])

Exemples :

- transgression : la population de San Francisco accepte de vivre dans une zone très fortement sismique ;
- fuite : une famille choisit – et a les moyens – de partir d'un quartier mal fréquenté (cambriolages, agressions...);
- captivité : une famille dans le besoin n'a d'autres moyens que de vivre dans une H.L.M. délabrée ;
- expulsion : suite à une augmentation des loyers, un locataire est contraint de déménager.

En définitive, le territoire peut être intégré de plusieurs manières. On retiendra en particulier que :

- il existe une notion de "polarité" de l'espace mettant en relief l'attraction (ou la répulsion) qu'engendre le territoire vis à vis des populations ;
- le territoire peut finalement se concevoir en tant que "construction sociale" comme une combinaison de l'homme et de l'espace (espace comme institutions, occupation du sol, etc.).

L'information géographique dans les études et les modèles de risques

L'information géographique pour l'étude physique des phénomènes

La dimension spatiale des phénomènes générateurs de risque exige une connaissance géographique approfondie des milieux concernés.

Celle-ci peut intervenir en amont de l'étude de risque, en épaulant l'analyse de l'aléa au sein de modèles physiques. Par exemple, dans l'étude du risque d'inondations, le scientifique cherche à prévoir au mieux les écoulements sur le territoire menacé. Pour cela, il a besoin d'une représentation topographique correcte de ce qu'il cherche à modéliser, à savoir le fonctionnement du cours d'eau et de son lit majeur. En ce sens, la topographie est essentielle, mais également l'"information orientée", c'est-à-dire les sections en travers, les valeurs de la pente, les ouvrages en travers tels que les ponts, les seuils, etc. (cf Figure 31).

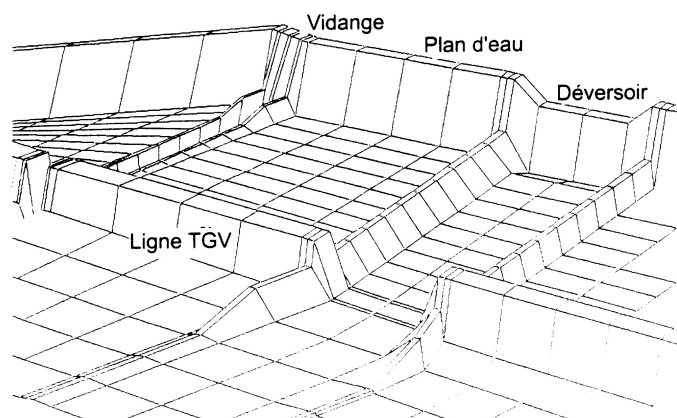


Figure 31 : exemple d'information topographique nécessaire à l'étude hydraulique du risque d'inondations (source : [46])

L'information géographique est également cruciale en gestion de crise, lorsqu'il s'agit d'alerter, de secourir et de protéger les populations et le territoire menacés par une catastrophe. Par exemple, l'étude des images satellitales s'inscrit naturellement dans le suivi du fonctionnement des cours d'eau en temps normal comme en temps de crue. Les images satellitales permettent d'intégrer des données géoréférencées, de combiner données morphohydrométriques, météorologiques et hydrologiques en incluant une dimension temporelle et enfin de simuler des crues [2].

Dans des situations de crise, l'imagerie spatiale par temps clair fournit une première évaluation générale des zones inondées à raison de 2 fois par jour mais avec une résolution limitée (1,1 km). L'imagerie radar pénètre les nuages, distingue bien les zones de couverture d'eau et peut se révéler utile pour l'organisation des secours et les plans de reconstruction.

L'imagerie spatiale permet enfin d'évaluer la couverture neigeuse et la quantité d'eau associée : les zones sont délimitées grâce aux images optiques tandis que l'épaisseur de la neige (donc la quantité d'eau) est déterminée avec les images radar.

Echelle de représentation et découpage du territoire dans l'étude des risques

Ainsi que nous le relevions en début de partie, les phénomènes et les territoires associés à un risque ne sont pas homogènes. En particulier, la description physique de l'aléa et la répartition des enjeux sur le territoire répondent à des logiques géographiques différentes. L'expert est ainsi amené à effectuer des choix concernant l'échelle de représentation des composantes du risque et le découpage spatial de l'espace pour leur analyse. Nous allons illustrer ce point au travers de cas pratiques.

Le choix des unités géographiques d'étude : l'exemple de l'étude de l'écosystème Seine-Amont

L'étude présentée ici se propose de comprendre le fonctionnement écologique d'un système hydrographique par la quantification des caractéristiques physiques et biologiques des milieux, afin d'en déduire une typologie régionale fonctionnelle et d'identifier les impacts des diverses interventions humaines sur le bassin et ses dysfonctionnements.

Par conséquent, l'approche géographique de l'hydrosystème est déterminante. Trois méthodologies ont été élaborées par l'Agence Eau de Seine-Normandie [1] :

L'approche de type "Loire" a pour objectif d'aider à la compréhension de l'organisation générale de l'hydrosystème. Pour cela, les paramètres physiques et les variables socio-économiques sont observées sur un canevas écologique global (grille raster 10 km x 10 km). Cette méthode présente l'intérêt de fournir une division de la zone en secteurs homogènes sur le plan de leur fonctionnement physique ou de leur utilisation, ce qui est notamment approprié à la compréhension et la planification globales d'un

hydrosystème. En revanche, les découpages raster et administratifs n'ont aucune réalité physique et hydrologique. La représentation des données n'est pas adaptée à la modélisation de paramètres physiques et socio-économiques exprimés en termes de flux (eau, sédiments, pollution). L'état des lieux sous forme de cartes brutes nécessite alors l'interprétation d'un expert.

L'approche par bassin-versant élémentaire ou intermédiaire a pour objectif de fournir deux échelles de compréhension de l'hydrosystème :

- une échelle globale des composantes physiques et humaines (typologie régionale), dans laquelle les unités de bases (Unités Spatiales d'Intégration – cf Figure 32) correspondent aux bassins-versants et facilitent ainsi l'étude des écosystèmes d'eau,
- une échelle analytique de la taille d'un bassin hydrographique (100 à 200 km²), adaptée à l'observation des flux (pollution, eau, sédiments) et des impacts des activités humaines sur ces flux.

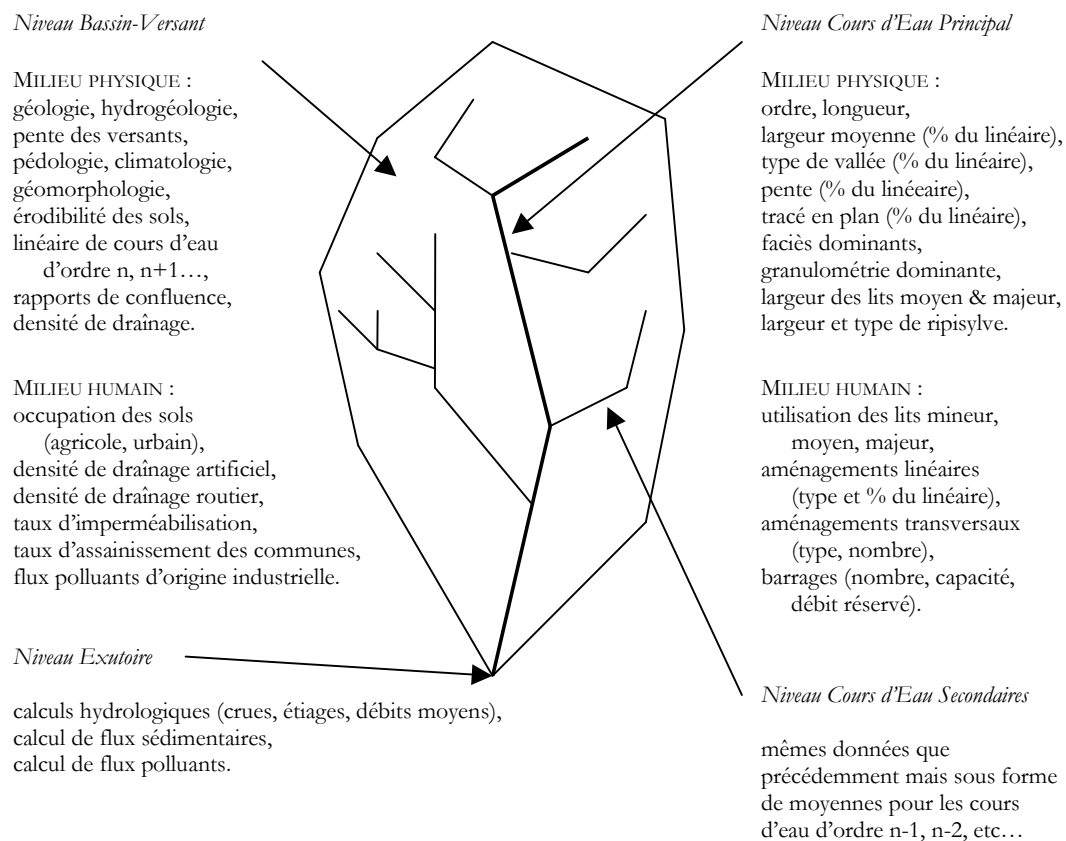


Figure 32 : paramètres affectés aux Unités Spatiales d'Intégration dans une approche de l'écosystème par bassin-versant (source [1])

La méthode présente l'intérêt de régionaliser les phénomènes à petite échelle et de fournir une modélisation simple des flux ; sa logique se rapproche en ce sens de celle utilisée pour déterminer les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (S.A.G.E.). On peut cependant regretter une modélisation des flux trop simpliste, le ruissellement et l'érosion nécessitent en effet des données à des échelles plus fines.

L'approche par portion élémentaire de cours d'eau

Les objectifs de l'outil sont :

- la caractérisation des cours d'eau et de leurs bassins-versants (approche globale),
- la modélisation poussée des processus physiques à une échelle fine.

Il s'agit en l'occurrence de découper le bassin d'étude en mailles géométriques, mais avec un pas très fin (environ 100 m). Chaque portion est ensuite renseignée (pente, largeur, granulométrie, hauteur et texture des berges...). Cela permet l'utilisation de modèles performants sur l'étude des flux.

Cette méthode apporte ainsi une résolution adaptée à l'utilisation de modèles et aux études d'impact des activités humaines au niveau local et au niveau global. Le revers de la médaille réside dans l'ampleur et la précision des renseignements à fournir. Cette méthode peut cependant faire l'objet d'une étude ponctuelle.

Cet exemple soulève le choix des unités spatiales dans l'étude d'un risque, ici à l'échelle d'un bassin hydrographique. Ce choix doit résoudre le compromis entre études globale et locale des phénomènes mis en jeu : cet aspect met en relief l'importance de la notion de "bassin de risque", représentant l'entité géographique homogène soumise à un même phénomène naturel.

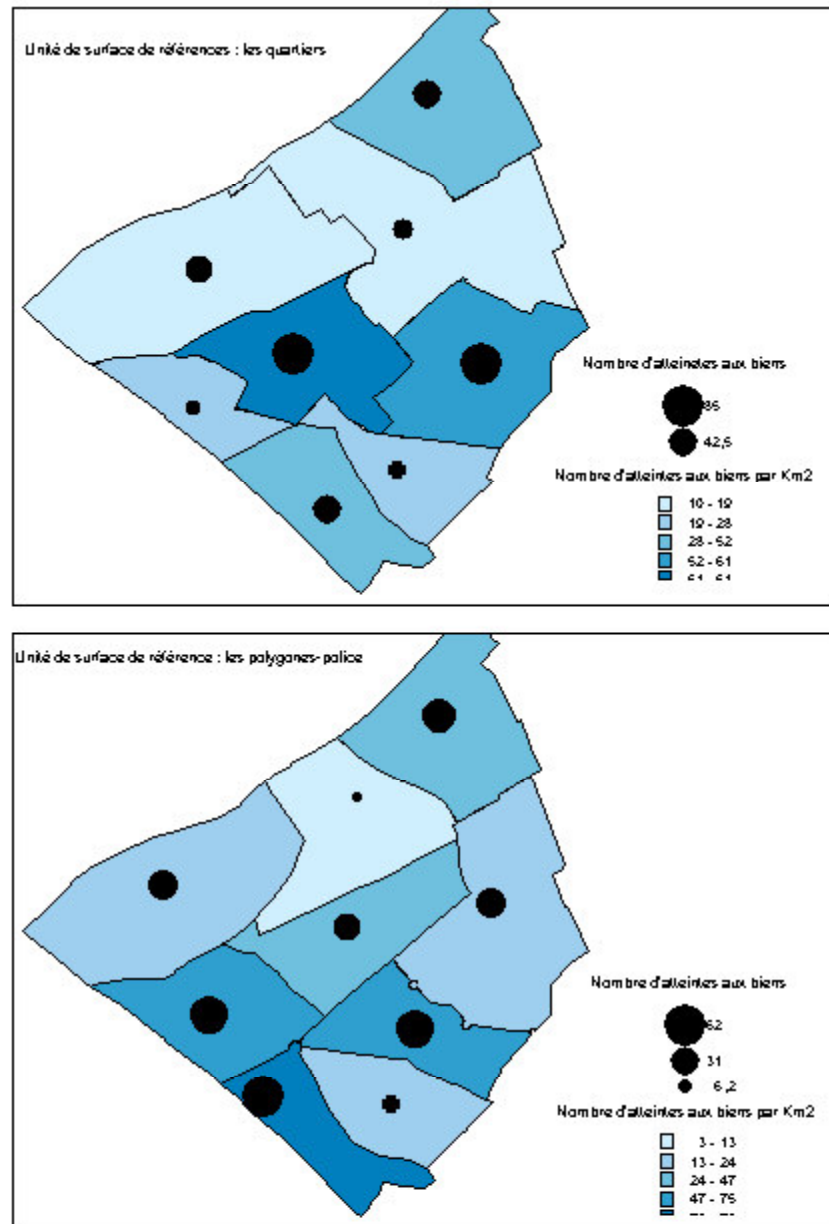
La représentation spatiale du risque : l'exemple de la délinquance urbaine

La prise en compte du problème de la délinquance sous ses aspects géographiques en est à ses balbutiements. L'impulsion en a été donnée à l'occasion de la création des Contrats Locaux de Sécurité (C.L.S.) par la circulaire interministérielle du 28 octobre 1997. Celle-ci évoque "la nécessité d'aboutir à une meilleure connaissance des réalités [...] de la délinquance", précisant "qu'une cartographie peut être à cet égard très utile".

Outre le fait que l'approche du phénomène de délinquance présente d'emblée plusieurs problèmes (les données manquantes ou non recensées par les services, les incertitudes reposant sur tous les phénomènes de causalité...), les recherches ont abouti à quelques résultats qui se heurtent à des problèmes de représentation spatiale.

En particulier, la représentation spatiale des actes de délinquance est subjective en ce sens qu'elle est soumise au choix des unités spatiales portant l'information (indépendamment des problèmes de traitement et d'obtention de cette information par des méthodes statistiques) [17].

Dans ce registre, la Carte 16 recense les délits enregistrés sur une zone, selon deux découpages par secteurs différents (découpage municipalité et découpage police). Il est manifeste que le choix du découpage influe fortement sur la géographie délinquante, laissant apparaître ainsi le poids des logiques institutionnelles dans toute représentation d'un phénomène social comme la délinquance. Par ailleurs, la répartition des délits sur le territoire laisse deviner l'ampleur spatiale du phénomène, et pose ainsi la question de l'étendue du territoire considéré dans l'étude.



Carte 16 : les découpages territoriaux et la répartition des délits (source : [17])

La méthode présentée est essentiellement descriptive et on peut facilement imaginer l'apport de la conceptualisation du territoire urbain et des statistiques spatiales dans l'étude des causes du phénomène (l'aléa).

Le découpage du territoire pour l'analyse de la vulnérabilité et des enjeux : l'exemple du risque d'inondations

Lorsque le modèle de risque peut s'affranchir du découpage spatial sur lequel sont fournies les données, la manière d'appréhender l'espace est plus libre car plus adaptée aux principes de modélisation retenus pour l'analyse de la vulnérabilité.

En 1980, le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie propose dans son guide méthodologique (guide méthodologique d'évaluation sommaire des critères économiques dans la **lutte contre les nuisances dues aux inondations**) une **modélisation de l'espace** intégrant à la fois le comportement des entités face à l'aléa ainsi que les richesses exposées qu'elles représentent [72].

Ainsi, le découpage de l'espace est double :

- découpage hydrologique : il est tel que le comportement de chaque zone est homogène et se résume aux mesures d'une station hydrométrique de la zone. Dans l'ordre décroissant, les critères de découpage sont : le nombre et la qualité des stations hydrométriques, l'hydrologie, l'hydrographie, la topographie et la météorologie. *Exemple* : un petit bassin versant homogène représenté par une station à l'exutoire ou tronçon de cours d'eau représenté par une station sur le parcours ou, le cas échéant, à l'extérieur.
- découpage socio-économique : les unités "socio-économiques" sont telles que les crues de caractéristiques hydrologiques identiques y provoquent à chaque fois les mêmes dommages.

Le découpage final est un croisement des 2 découpages précédents. Les cellules mises en évidence sont ainsi homogènes, et, conformément au modèle choisi, chaque cellule se voit attribuer une valeur de coût unique, fonction de ses caractéristiques socio-économiques et des paramètres hydrologiques descriptifs du phénomène envisagé.

Sur le même thème, le travail de thèse de J.-P. TORDEROTOT se focalise sur **la modélisation et l'estimation des coûts des dommages consécutifs à une inondation sur une aire géographique** [102]. Ce travail intègre l'analyse de vulnérabilité mais également le caractère aléatoire des phénomènes, l'objectif étant de représenter l'apparition du processus des impacts en fonction de l'aléa afin de pouvoir estimer par simulations les coûts dus à des inondations potentielles.

L'étude se penche en particulier sur l'impact du choix d'une échelle géographique d'étude, car celle-ci conditionne notamment la nature des dommages et des coûts à considérer. En pratique, l'évaluation des dommages est demandée aussi bien à l'échelle d'un quartier qu'à celle d'une partie de vallée, d'un bassin versant, etc. A une échelle fine, il y a nécessité d'échafauder un modèle pour évaluer les dommages, car une description exhaustive n'est pas envisageable, ne serait-ce qu'en considérant les difficultés rencontrées pour l'élaboration du recueil des données.

De même que dans les directives énoncées par le Ministère de l'Environnement, la part de l'occupation du sol dans l'analyse de vulnérabilité est explicite dans cette démarche d'évaluation des dommages. La méthode propose à ce titre de considérer l'espace en établissant un découpage spatial fonction des paramètres de crue et de vulnérabilité au sol.

Le modèle générique d'évaluation des dommages doit comprendre en particulier :

- un sous-modèle d'occupation des sols (surfaces) pour :
 - la distinction et la typologie des occupations des sols,
 - la prise en compte d'une sous-échelle d'espace : parcelle, cellules homogènes / hétérogènes, discrétisation par points ou mailles, etc.,
 - le recueil des données à partir de plusieurs sources : repérages de terrain, densités globales, télédétection, recensement, etc.,
 - la quantification du capital exposé : nombre, valeurs, etc.,
 - l'intégration des données d'altitude : valeur moyenne par cellule, distribution, etc. ;
- un sous-modèle de quantification des dommages "unitaires" (par unité de surface, par bâtiment, en proportion de la valeur du bien exposé, etc.) pour :
 - la typologie des biens et surfaces considérées,
 - la prise en compte des paramètres de submersion,
 - l'établissement des fonctions de dommages à partir de plusieurs sources : données locales ou non, issues d'un échantillonnage ou établies sur des biens-types, etc.

Ces deux sous-modèles sont souvent réunis en un seul sous-modèle économique.

Les exemples présentés ci-dessus montrent combien la description géographique du risque (le phénomène, le territoire) conditionne la modélisation de l'analyse des enjeux.

La vulnérabilité résultant de l'impact d'un phénomène donné sur une unité soumise, l'espace intervient dans l'analyse des enjeux à deux niveaux :

- dans la description des paramètres physiques du phénomène considéré sur la zone menacée,
- dans la description des unités présentes au sol.

Ces descriptions peuvent conduire à caractériser l'espace selon, par exemple, des découpages isolant des cellules dont les comportements sont homogènes en termes de vulnérabilité.

La modélisation spatiale atteint ses limites notamment lorsque les données disponibles sur la description de l'occupation du sol ou sur la paramétrisation physique du phénomène sur la zone d'étude constituent un facteur limitant à la description et à la caractérisation de l'espace. La qualité des résultats obtenus dépend bien sûr de la réalité du modèle échafaudé, mais également de la qualité des tableaux et fonctions d'endommagement issus d'analyses économiques pouvant aussi intégrer la dimension spatiale.

L'étude des mécanismes spatiaux associés aux risques

Au delà des hypothèses de travail et des choix de représentation liés à des contraintes techniques, l'étude des risques gagne souvent à être approfondie par une analyse spatiale et géographique des mécanismes sous-jacents.

Au niveau le plus simple, la capitalisation et l'exploitation des informations sur les catastrophes passées permet de dégager des caractéristiques géographiques générales sur le risque, pour peu que les informations aient été géoréférencées. Cette démarche s'inscrit dans le "**retour d'expérience**", dont l'objectif est d'analyser *a posteriori* les événements vécus, dans le but d'améliorer un processus décisionnel, des études d'impacts, ou la discrimination d'actions bénéfiques et néfastes.

Par exemple, s'agissant d'effectuer au mieux le retour d'expérience des interventions contre les feux de forêts, la prise en compte de l'aspect géographique est fondée et revient à [18] :

- conceptualiser les objets (feux, camions, points d'eau, etc.),
- intégrer les relations entre les événements & décisions (incendie, secours, lutte terrestre, canadiens, etc.),
- concevoir et développer une interface homme-machine.

Afin d'optimiser au mieux le retour d'expérience, les remarques faites aux chefs de secteur dans la description des secteurs d'intervention sont recensées, afin d'établir une base de données D.F.C.I. (Défense de la Forêt Contre l'Incendie) spatialisées sur des unités élémentaires de 2 km x 2 km. Elles ont pour objet de :

- préciser les limites évoluant dans le temps,
- préciser les limites en tant que cadre dans l'articulation des secours, l'évaluation des priorités, la répartition des missions.

Une donnée importante relative au retour d'expérience est le front de feu. L'environnement immédiat du front de feu ainsi que la propagation complètent l'étude de la pertinence des actions dans une optique "retour d'expérience".

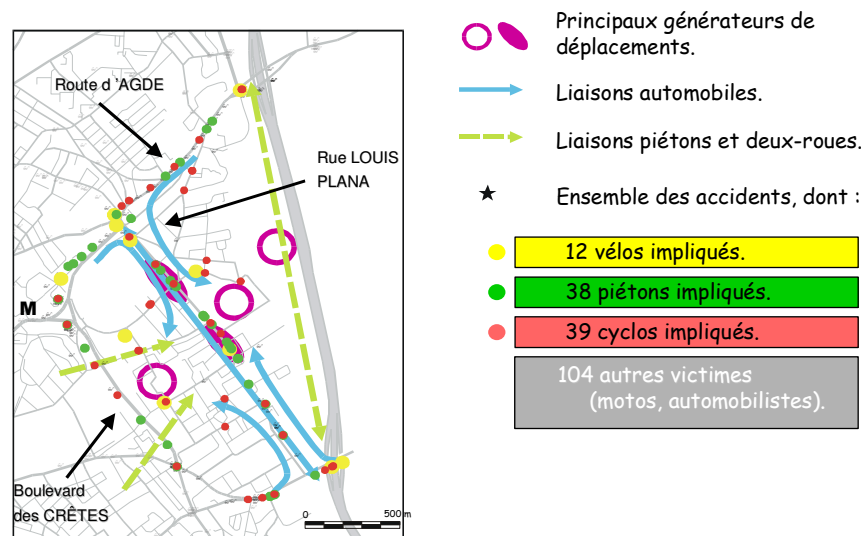
Dans un registre plus analytique, l'étude géographique d'un risque sanitaire par contamination se justifie d'elle-même et donne lieu à des recherches de mécanismes de style "diffusion" [36]. Partant de causes supposées de transmission du virus, le travail consiste à proposer des **modèles de diffusion** des maladies à partir d'une modélisation de l'espace, et en l'occurrence, des centres urbains et du réseau routier.

Par exemple pour le Sida en Inde, le virus est propagé par les migrations de travail temporaires entre villages et métropoles, les axes routiers mettant en relation les chauffeurs routiers avec la prostitution locale et la mobilité inter-états des prostituées elles-mêmes. De fait, parmi les régions étudiées, le modèle élaboré permet de mettre en évidence trois modèles de diffusion du virus :

- une diffusion hiérarchique à partir d'une capitale d'état, le long des axes de communication et vers les villes proches de rang inférieur : la diffusion est favorisée par la position de carrefour ;
- une diffusion par contagion à partir d'un village jusqu'au chef de district voisin, qui à son tour contamine les villages voisins ; l'extension à la très grande périphérie est favorisée par les transports routiers ;
- un modèle dans lequel un centre de pèlerinage (Tirupati) agit comme une capitale d'état et touche ainsi villages voisins mais aussi villes voisines de rang supérieur, ces dernières devenant à leur tour des centres de diffusion : la propagation se fait le long des axes de communication.

Nous évoquerons enfin la recherche opérationnelle, pour laquelle le foisonnement des techniques liées aux S.I.G apporte des outils d'analyse spatiale de plus en plus poussés. En particulier, le croisement d'informations d'origines différentes sur une même zone facilite **la recherche de causalités** pour un

phénomène donné. Ce type de démarche permet par exemple d'analyser les accidents automobiles à l'échelle d'un quartier (cf Carte 17) en confrontant les événements à un descriptif détaillé du contexte (personnes impliquées, véhicules, environnement, etc.) [83].



Carte 17 : analyse des accidents d'automobiles dans le quartier Plana à Toulouse (source : [83])

Bien évidemment, les **S.I.G.** offrent de multiples fonctionnalités susceptibles d'enrichir l'analyse des risques. Plusieurs d'entre elles ont déjà été évoquées plus ou moins explicitement au cours de notre exposé :

- l'archivage et l'affichage des données : pour le retour d'expérience, la cartographie, etc.,
- le croisement de couches : superposition de plusieurs variables – par exemple pour déterminer une vulnérabilité synthétique ou un niveau de risque,
- l'étude de scénarios : pour comparer plusieurs aléas différents ou pour évaluer l'impact de mesures et d'aménagement,
- etc.

Par ailleurs, la **gestion des réseaux** (de communication, de transport, d'énergie, etc.) nécessite des analyses géographiques propres dans le cadre des risques (problèmes de transferts de risque, impact des perturbations des réseaux, etc.) dont nous donnons un aperçu dans la partie qui suit.

Risques et réseaux

La part croissante des réseaux dans la prise en compte des risques

Le lien étroit existant entre l'occupation du sol et la notion d'enjeux appelle des considérations plus poussées sur la définition et la formalisation de l'espace géographique. A ce titre, le concept de "**territoire**" donne de nouvelles dimensions à la description figée de l'espace par les données d'occupation du sol :

“Une portion de l'étendue terrestre appropriée et aménagée par un groupe humain, pour subvenir à ses divers besoins, constitue son “territoire” ; ce groupe organise le territoire en différents sous-espaces

homogènes, répondant chacun à un besoin spécifique (habiter, produire, communiquer...) ; ces sous-espaces spécialisés, sont gérés de manière autonome par des groupes d'acteurs différents, qui entretiennent cependant un réseau de relations entre eux de manière à assurer le fonctionnement global du territoire. L'espace aménagé renvoie ainsi à différents niveaux d'organisation spatiale qui se traduisent par un enchevêtrement de configurations de nature, de forme, de taille variables : maillages administratifs, réseaux de communication, foyers d'activités, zones d'habitat... Ces configurations ne sont pas immuables mais au contraire sont remodelées en permanence, car l'espace est objet d'enjeux, et des rapports de force peuvent s'exercer entre des sous-espaces contigus." (LE BERRE M. : *Principes de modélisation de la complexité spatiale*. In *Cheminevements systémiques : du modèle AMORAL à une réflexion théorique en géographie*. Juin 1986, pp. 107-115)

Dans cette approche, les unités spatiales ont un rôle fonctionnel et interagissent entre elles par le jeu des acteurs peuplant et gérant un territoire en constante évolution [9]. L'aspect spatial des phénomènes ne se limite donc pas à la statique des territoires et de l'occupation du sol, mais également à la **dynamique des réseaux**. En 1985, dans leur ouvrage intitulé "La planète relationnelle", Albert BRESSAND et Catherine DISTLER anticipaient ce que serait l'an 2000 et à juste titre, avaient prévu un monde régi par l'"économie de réseaux".

Qu'il s'agisse de réseaux électriques, routiers, autoroutiers, ferroviaires, téléphoniques, hertziens, informatiques (etc.), les réseaux sont enchevêtrés, omniprésents et "presque invisibles" tant ils paraissent naturels. Tandis qu'ils améliorent le bien-être de chacun faisant ainsi renaître "l'individu-roi", ils contribuent également à accroître la fragilité et l'instabilité des individus en rendant les agents hyperdépendants. De fait, une rupture de réseau paralyse non seulement un ensemble de consommateurs, mais provoque aussi des ruptures en chaîne sur d'autres réseaux : "les réseaux, reliés entre eux, sont menacés d'une thrombose généralisée." [62]

Tous les maillons d'un réseau sont essentiels au bon fonctionnement de l'ensemble. Un individu intégré dans une multitude de réseaux se trouve à la fois plus indépendant des autres et en même temps dans une situation de plus grande dépendance. Jacques Blondeau – n°1 de la réassurance en France – affirme à ce titre que les réseaux nationaux et internationaux contribuent à "une multiplication à un rythme exponentiel des risques".

Ainsi, la vulnérabilité des territoires se ramifie à l'image des réseaux et une catastrophe naturelle ou technologique paralyse non seulement les régions sinistrées, mais également toutes celles qui en dépendent par l'intermédiaire de réseaux.

Au mois d'août 1999, on pouvait lire dans *Le Monde* à propos d'un séisme en Turquie que "[l']infrastructure routière [avait] été sérieusement endommagée [et] l'accès à la région [était rendu] difficile." Quelques mois plus tard, les tempêtes qui ont ravagé la France du 26 au 28 décembre 1999 ont sérieusement abîmé le réseau électrique "autoroutier". Au lendemain des intempéries, le directeur de l'environnement d'E.D.F. déplorait l'endommagement de "36 lignes de très haute tension, de 400000 volts, soit le quart [du] réseau [...]. La France est coupée en deux d'une ligne allant de Nantes à Strasbourg. Il n'y a plus d'interconnexion entre le nord et le sud du pays, ce qui accentue encore la fragilité car [E.D.F. ne peut] pas apporter de secours supplémentaires entre les régions." Par ailleurs, ces dégâts sur le réseau électrique français ont provoqué des perturbations sur d'autres réseaux, privant entre autre des milliers de foyers d'eau potable ou de téléphone...

Ces événements ont accru la prise de conscience de la vulnérabilité des réseaux par les pouvoirs. Dans la plaquette de présentation de la prévention des risques [74], le délégué-adjoint aux risques majeurs du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement note la nécessité des progrès à réaliser "pour augmenter la robustesse des constructions, des entreprises et des réseaux face aux événements naturels. La vulnérabilité des réseaux aux tempêtes de décembre [1999] a en particulier révélé que cet aspect avait sans doute été insuffisamment pris en compte par leurs gestionnaires. Ce sera l'une des actions des années à venir que de progresser en ce domaine."

Définition du réseau

Généralités

Un indicateur simple caractéristique du réseau sur un territoire est l'**existence d'échanges** ou, plus généralement, de **mises en relation entre les différents acteurs** [58].

On distingue entre autre :

- les réseaux de transports : pour l'acheminement des personnes et des marchandises,
- les réseaux de communication : information, téléphonie, Internet,
- les réseaux d'énergie : eau, électricité, gaz, etc.

Les réseaux sont aujourd'hui omniprésents, particulièrement en milieu urbain. Ce dernier est en effet caractérisé par [9] :

- la concentration d'hommes et d'activités,
- l'accumulation de richesses,
- la présence de hiérarchies politique et économique.

Cette configuration favorise la multiplication des flux d'échanges d'hommes, de matière, d'énergie et d'information et donc la structuration de l'espace en réseaux.

Parmi eux, les réseaux techniques urbains regroupent :

- les réseaux-services relatifs à l'organisation au niveau de l'espace urbain,
- les réseaux-supports relatifs aux infrastructures.

Exemples : tous les réseaux ayant trait à l'électricité, le gaz, les télécommunications, les transports, mais aussi l'éclairage, l'assainissement, le traitement des déchets, etc.

La conceptualisation du réseau

S'agissant de formaliser les interactions entre différents acteurs sur un territoire, le réseau peut-être perçu de différentes manières [34][58]. Il peut être considéré comme :

- **un arrangement réciproque des lieux** : approche morphologique du réseau par visualisation et agencement des objets et par études topologiques ;
- **un réseau cinématique** : approche fonctionnelle considérant le réseau comme "machine" circulatoire en effectuant des corrélations dans le temps et dans l'espace ;
- **un système informé** : approche cognitive selon laquelle le comportement est influencé par l'environnement selon des mécanismes d'adaptation ou de transformation.

"Ces 3 composantes se complètent : la régulation systémique par le jeu de l'information permet d'adapter la trame topologique et les fonctions spatio-temporelles du réseau à une réalité territoriale changeante" [58]. A différents niveaux d'analyse, les réseaux peuvent être considérés comme des objets techniques ayant des fonctions à remplir (analyse des spécificités, mais aussi étude des fonctions par rapport aux lieux, acteurs ou objets mis en relation) ; ils peuvent aussi être analysés dans la manière d'être perçus, vécus ou pratiqués par des individus, des groupes, des acteurs. De fait, la logique d'acteurs contribue à constituer ou faire exister les réseaux. La multiplicité des acteurs rend cependant les analyses complexes. Pour pallier cette difficulté, on peut agréger les différents acteurs (publics et privés) en un acteur collectif, comme "opérateur" ayant la capacité de relier des éléments dans l'espace et le temps en se ménageant les conditions techniques, juridiques et économiques de son monopole.

A l'échelle du territoire, les réseaux contribuent à construire l'espace. Par exemple, la mise en place d'infrastructures de transport du type T.G.V. ou métro peut être appréhendée globalement comme une modification du territoire ("déterritorialisation-reterritorialisation") à grande ou à petite échelle. Contrairement à la route et aux chemins de fer classiques, la liaison T.G.V. n'a pour objet que de rapprocher les lieux qu'elle connecte et n'investit donc pas le territoire par lequel s'effectue le déplacement. Le territoire perd sa continuité et seuls les points d'embarquement apparaissent comme importants (on parle d'"effet tunnel" : ce phénomène est bien connu pour le transport aérien – on parle

de “hubs and spokes”, c'est-à-dire centres et rayons, mais il est également visible pour le T.G.V. avec les gares T.G.V. et les autoroutes avec les échangeurs) [13].

Le concept de Reson (ou la rético-rationalité, c'est-à-dire la rationalité des réseaux) intègre explicitement les interactions et les échanges entre les acteurs, en recadrant la notion de réseau autour des 5 axiomes suivants [64] :

- **axiome de collectivité** : le réseau apparaît comme une conjonction des perceptions et volontés de tous les acteurs – un acteur pris séparément ne peut rendre compte du réseau ;
- **axiome relationnel** : la modélisation porte sur les relations (c'est-à-dire les interactions entre acteurs) ;
- **axiome de récursivité** : “l'action du réseau est productrice du réseau” – il y a autoreprésentation (le réseau d'acteurs produit sa propre représentation) et autocontrôle (le réseau se contrôle grâce à la perception qu'il a de lui-même – autoperception – et à son autovolonté) ;
- **axiome de symbolisation** : la communication entre les acteurs s'opère par des modèles utilisant des symboles propres, ils permettent la mémorisation, le calcul et la modélisation ;
- **axiome de complexité** : les réseaux urbains sont enchevêtrés – ils sont considérés à partir de leur partie physique, des acteurs chargés de la commande et de l'entretien de la partie physique, et des acteurs-utilisateurs en interface entre les deux.

Cette caractérisation souligne les modes de fonctionnement des réseaux urbains par réunions, superpositions et enchevêtrement au service des relations et échanges entre utilisateurs.

Les réseaux apparaissent en définitive comme des moyens de véhiculer énergie, information, biens, personnes, etc. Le revers est de ce mode de fonctionnement est l'acheminement de catastrophes, l'existence de mécanismes de perversion des capacités de contact et de communication des réseaux [64]. Les dysfonctionnements et l'endommagement des réseaux sont générateurs de risque, comme nous allons le voir maintenant.

Les risques de réseaux et les vulnérabilités associées

Définition

Les dépendances croissantes des populations vis-à-vis des réseaux d'énergie, de communication et de transport accroît en parallèle leur vulnérabilité aux risques d'interruption de ces mêmes réseaux [79].

Les réseaux de téléphone et d'électricité sont facilement endommagés, mais aussi rapidement réparés : par exemple, il n'a fallu que 6 jours et demi pour restaurer l'électricité à Kobé après le séisme du 17 janvier 1995. En revanche, en ce qui concerne les ponts, ports et aéroports, les dommages sont rares mais les réparations longues et coûteuses.

Au-delà des dommages purement matériels, les dysfonctionnements de réseaux se répercutent sur les activités et les échanges qui en sont tributaires : par exemple, une coupure d'électricité peut sérieusement compromettre l'assainissement et la distribution de l'eau. Cette inter-dépendance entre les réseaux rend l'estimation de la vulnérabilité et des dommages potentiels particulièrement délicate. L'expression de la vulnérabilité aux risques de réseaux dépend ainsi de nombreux paramètres, comme la sévérité des dommages déplorés, le délai de l'interruption, le coût de réparation, le coût du service de remplacement pendant l'interruption, les conséquences sur les autres réseaux comme évoqué précédemment, etc.

La considération des risques de réseaux doit raisonnablement exclure les situations engendrées par les guerres, le terrorisme, et une partie des catastrophes sanitaires [16]. Par ailleurs, de même que la gestion des risques s'effectue à un niveau collectif (le risque individuel étant assumé par les assurances), l'étude du risque de réseau délaissera le risque généré au niveau de l'individu (*ex.* : accident de voiture) ou de l'entreprise (*ex.* : perte d'un central téléphonique).

Le **risque de réseau** – typiquement le risque urbain – peut être ainsi assimilé à un événement aléatoire (en nature, en intensité et dans le temps) perturbant le fonctionnement et l'évolution du territoire. La

survenance d'un tel événement peut être causée par la Nature, le dysfonctionnement même de systèmes ou de réseaux, ou encore la défaillance des organisations publiques [16].

Caractérisation

En terme d'aléa, les risques majeurs pour les réseaux (de transport, d'information et d'énergie) correspondent à la destruction totale ou partielle des voies ou des nœuds. Ils doivent exclusivement être envisagés au niveau de leurs gestionnaires et à l'échelle des collectivités territoriales [24].

En terme de vulnérabilité, les facteurs expliquant et aggravant les effets des risques de réseaux sont [9] :

- La localisation spatiale et la densité : la concentration et la multiplication des interactions accroissent la vulnérabilité. La densité est d'autant plus un facteur de la vulnérabilité que le site est soumis à un risque majeur. En effet, l'exploitation d'un territoire par l'homme est directement liée aux conditions habituelles et non aux calamités dont la fréquence d'occurrence n'est pas comparable à l'échelle humaine. Par ailleurs, la source de risque peut elle-même être source de richesses (un fleuve, une côte, etc.) – ce qui est comparable aux usines qui constituent des sources de risques technologiques. En termes de rapport réseau-site, le réseau d'assainissement est un exemple éloquent du réseau comme partie intégrante d'un réseau plus grand encore et lui-même soumis à d'autres risques, à savoir le réseau hydrographique.
- L'enterrement des réseaux et l'urbanisme souterrain : la multiplication des réseaux souterrains conduit à un encombrement du sous-sol. Elle rend les différents réseaux inter-dépendants en même temps que la localisation des pannes est rendue difficile. Les causes des sinistres des réseaux en sous-sol sont : les feux (un tiers des cas), la pollution de l'air (17%), les désordres de construction (14%), les explosions (9%), les séismes (0,9%).
- Les interdépendances et les effets d'une concentration de réseaux : parce que les réseaux structurent l'espace, ils peuvent aussi diffuser les sinistres en déplaçant l'aléa (*ex.* : la pollution des eaux) ou en diffusant et en amplifiant l'impact de l'aléa (*ex.* : une catastrophe urbaine entraîne des embouteillages et provoque le ralentissement des secours).
- La concentration du commandement et des pouvoirs dans le milieu urbain : par extension, la ville peut être assimilée à ses territoires environnants et former un bassin-versant de risques. Dans un tel espace, une catastrophe peut entraîner successivement urgence, crise puis chaos lorsqu'aucun système de communication alternatif ne peut épauler les autorités politiques.

Exemples :

- la gestion d'une inondation de cave correspond à une situation d'urgence ;
- la gestion de crise consiste pour les pouvoirs locaux à s'organiser au mieux pour réduire les effets irrésistibles d'une catastrophe : par exemple à Vaison-la-Romaine, il s'agissait d'alerter et d'informer à défaut de pouvoir secourir ;
- la situation de chaos est caractérisée par l'absence des pouvoirs locaux, comme lors des inondations de Nîmes avec la coupure des réseaux d'électricité et de téléphone et les pillages en centre-ville.

En matière de risques associés aux réseaux techniques urbains, Ph. BLANCHER propose la typologie de risques suivante [9] :

- nuisances et pollutions dues au fonctionnement normal des réseaux (bruit, échappements...) ;
- risques liés à la rupture d'approvisionnement, la panne ou la grève : rupture du réseau-service mais pas du réseau-support ;
- risques dus à la saturation, au sous-dimensionnement du réseau (sur demande d'électricité, saturation de l'évacuation des eaux de pluie...) ;
- risques liés à la fuite, à l'accident, à la rupture du réseau-support ou à la dégradation d'un de ses composants – l'accident peut provenir d'une erreur technique, d'un défaut de conception, d'une erreur de conduite, de vandalisme, de terrorisme ou encore d'une catastrophe naturelle ;

- risques liés au parasitage, au piratage, à la pollution externe des réseaux, à leur utilisation détournée (atteintes à la confidentialité, rejets de produits toxiques dans les réseaux d'eau...);
- nuisances et risques liés à la construction et aux travaux sur les réseaux (jusqu'à provoquer des ébranlements et des glissements de terrain).

Quelques illustrations et méthodes d'analyse des risques associés aux réseaux

Une méthodologie d'identification des scénarios catastrophiques en milieu urbain

La méthodologie d'analyse des risques de réseaux que nous présentons ici se positionne autour de l'étude de scénarios [86]. L'objectif est d'identifier puis d'évaluer les risques liés à la concentration de réseaux et à leurs interactions & conséquences vis-à-vis de la zone considérée par "effet domino".

Le risque est caractérisé selon 3 indicateurs reflétant les composantes aléa, vulnérabilité et leur synthèse, à savoir :

- la vraisemblance de survenue des accidents,
- la gravité des conséquences des événements,
- l'évaluation du coût direct et indirect des événements et de leurs conséquences.

La zone (typiquement zone urbaine) est quant à elle appréhendée sous différents aspects :

- le descriptif de la zone,
- les éléments potentiellement dangereux,
- les éléments vulnérables,
- les activités diverses et flux observables.

Le modèle d'identification et d'analyse des scénarios depuis l'initiation de l'accident jusqu'aux effets sur les composantes de la cité prend alors la forme indiquée en Figure 33.

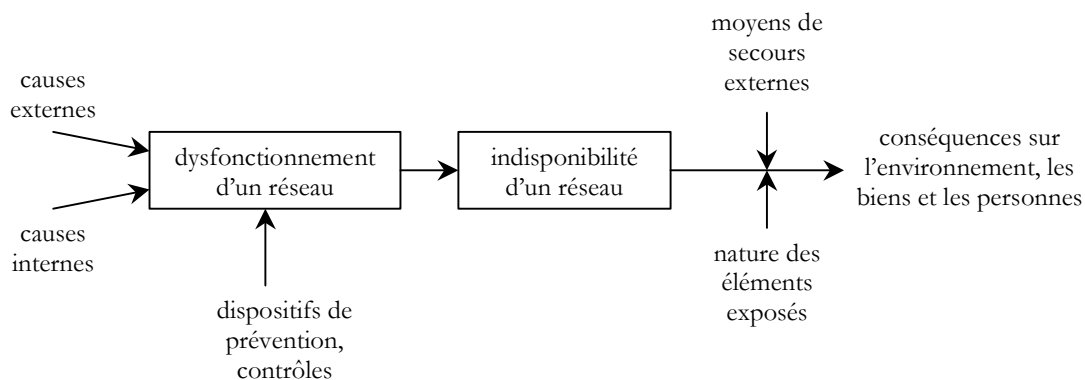


Figure 33 : scénarios menant de l'événement initiateur d'accident à l'événement redouté (source : [86])

Commentaires relatifs à la Figure 33 :

- les causes externes sont issues de l'environnement naturel (séisme, inondations...), urbain (incendie, malveillance...) ou industriel (dysfonctionnements des autres réseaux, présence de sites dangereux...);
- les causes internes sont issues de défaillances possibles du réseau : rupture, fuite ou mauvaise isolation ;
- les moyens de protection et de secours externes ont pour rôle de minimiser les conséquences potentielles de l'accident ;
- la nature des éléments (i.e. composantes de la ville) exposés est variée : il peut s'agir d'autres réseaux, d'entreprises, de commerces, d'établissements scolaires, de résidences, etc. ;

- les conséquences sur l'environnement regroupent les conséquences technologiques, économiques et sociales sur les environnements urbain, naturel et humain.

La gestion d'un réseau technique : l'exemple du réseau électrique

Les fonctions du système électrique peuvent être hiérarchisées selon trois niveaux [25][90] :

- niveau 1 : production,
- niveau 2 : production-transport,
- niveau 3 : production-transport-distribution.

Concrètement, les groupes de production alimentent le réseau de transport, qui alimente lui-même les réseaux de distribution. Par ailleurs, le réseau de transport est lui-même décomposé en sous-réseaux : Très Haute Tension, Haute Tension, Moyenne Tension, Basse Tension, etc.

En matière de risques, le réseau électrique est sensible à **deux types d'aléa** :

- les aléas externes : il s'agit aussi bien d'aléas industriels (causés par des installations voisines de nœuds du réseau, des ouvrages de liaisons, des travaux, des T.M.D., etc.) que d'aléas naturels (tempêtes, neige, foudre, inondations, mouvements de terrain, etc.) ;
- les aléas internes : ils sont relatifs au fonctionnement même du réseau.

La caractérisation des phénomènes dommageables au réseau électrique peut se faire selon trois approches :

- une approche historique consistant à prendre en compte l'intensité maximale connue (domaine du nucléaire, de la sismologie...),
- une approche par scénarios (cf méthodologie présentée plus haut) regroupant plusieurs risques : le niveau d'approche de chaque risque n'est plus majoré mais on considère la valeur médiane (cf certaines applications présentées dans les paragraphes consacrés au domaine assurantiel),
- une approche probabiliste considérant les probabilités globales de défaillance – mais cette méthode n'est en fait absolument pas adaptée pour l'étude de vulnérabilité des réseaux.

Le principe de base dans la prévention du risque sur le réseau électrique est le principe de prévention. La conception du réseau est réalisée en suivant des normes de construction prenant en compte les aléas redoutés et doublant les équipements les plus sensibles. Le bon état de marche du réseau est caractérisé par des indicateurs tels que **la sûreté et la fiabilité** :

- Le réseau est dans un état sûr si on s'est prémuni contre une classe d'incidents et si on se définit un seuil de probabilité. Un incident non prévu *a priori* et dont la probabilité serait en-deçà de ce seuil plonge le réseau dans un état critique.
- La fiabilité d'un dispositif est l'aptitude à accomplir une fonction requise, dans des conditions données et pendant une durée donnée. Pour le réseau électrique, la fiabilité se définit par l'aptitude à satisfaire la demande d'électricité de tous les clients du système, en quantité et en qualité. La fiabilité est plutôt mesurée au regard des interruptions de service, selon plusieurs indices : la fréquence et la durée des interruptions temporaires ou prolongées, l'énergie non desservie dans un intervalle de temps donné, la puissance coupée, le nombre de transgressions des limites acceptables de fréquence et de tension, etc.

Les objectifs de fiabilité peuvent eux-mêmes être déterminés de manière :

- déterministe : par l'étude détaillée du bon fonctionnement dans les cas critiques choisis par expérience et représentant précisément les conditions d'exploitation – cette approche nécessite de sélectionner les cas d'étude de manière pertinente ;
- probabiliste : par le choix d'imposer des valeurs limites à des indices de fiabilité (*ex.* : espérance de l'énergie non desservie, probabilité de coupure) en prenant en compte un très grand nombre d'états possibles (simulations de Monte-Carlo) – cette approche nécessite des calculs plus difficiles quand bien même le choix de l'indicateur est représentatif.

De cette manière, la vulnérabilité intrinsèque au réseau électrique est “inversement reliée” à l'indicateur de fiabilité : plus le degré de fiabilité est élevé, moins le réseau est susceptible de subir des dysfonctionnements.

Ainsi, l'approche technico-économique du réseau électrique est fondée sur **la relation coût-bénéfice** : la fiabilité apparaît comme une composante du coût tandis que les gains qu'engendre l'investissement en fiabilité sont considérés comme des bénéfices. La prise en compte de la fiabilité dans la planification du système électrique est soumise à un double enjeu : il s'agit à la fois d'assurer effectivement la fiabilité et de rechercher une minimisation des coûts d'investissement et d'exploitation.

La difficile conceptualisation du territoire urbain

Avec l'avènement de l'automobile sont apparues dans le milieu urbain les notions :

- d'accessibilité, de sécurité, de qualité de service ;
- de techniques d'aménagement ;
- de conception de réseaux et de traitements d'espaces publics.

Les différents principes qui doivent être pris en compte dans la manière d'appréhender le milieu urbain sont [41] :

- la ségrégation des modes (selon la sécurité et la vitesse) et la hiérarchisation des réseaux viaires (artères, dessertes, transits...),
- l'intégration des différents modes de déplacements et usages de l'espace urbain.

Historiquement, Buchanan définit en 1963 la *zone d'environnement* comme une entité homogène nécessitant une circulation règlementée en fonction du niveau de protection souhaité. Par la suite, la conception du milieu urbain intègre les fonctions et les usages, tels le programme “traffic calming”, le programme français “Ville plus sûre et quartiers sans accidents” ou encore la création des zones 30.

Les grands modèles de réseaux urbains sont les suivants [41] :

- le modèle Buchanan (1963) et le plan de transport hollandais : catégorisation des voies urbaines (voies primaires, secondaires et tertiaires), vision monofonctionnelle de la voie (cf Figure 34) ;
- le modèle danois : double hiérarchisation, par niveaux de trafic et par caractérisation de la vie locale (cf Figure 35) – ce modèle permet aux zones 30 de concentrer des voies à fort trafic ;
- les zones 30 – le modèle “villes 30” : modèle appliqué à des villes entières (en Allemagne) et à des centre-villes (en Belgique) ; en Suède, on parle de “vision zéro” lorsque la zone 30 concerne tous les endroits empruntés par les piétons ;
- catégorisation des voies et traitement des quartiers – le modèle urbain : notions de transit, d'accès, de structure urbaine, prise en compte de valeurs sociales, écologiques, économiques, etc.

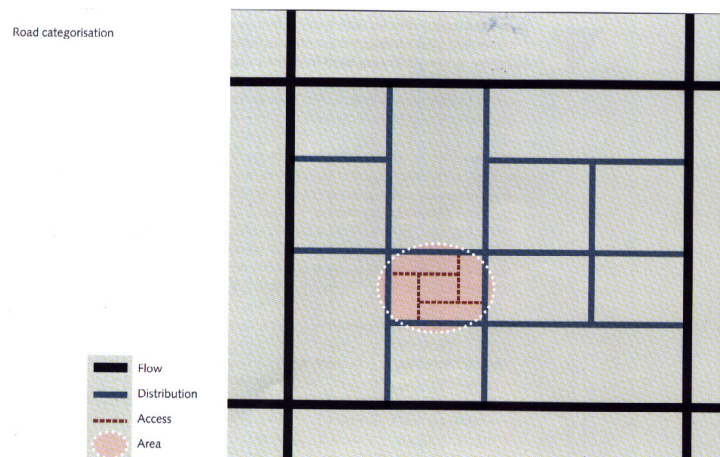


Figure 34 : catégorisation des voies urbaines en Hollande (source : Ministry of Transport, Public Works and Water Management : Towards safer roads. Den Haag, 1996, 16p. in [41])

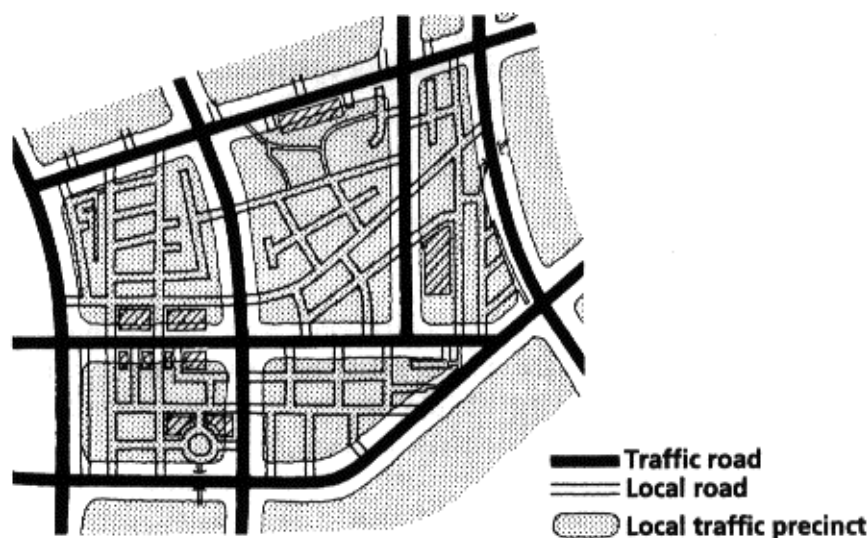


Figure 35 : réseau viaire (source : Greibe P., Nilsson P.K., Andersen K. : Dumas European Project. WP1 National Experience. National report of Denmark, 1997, 57 p. in [41])

La conceptualisation du milieu urbain repose ainsi sur **la catégorisation des voies et la fonction et les usages des espaces**. Les décisions d'urbanisme et d'aménagement au niveau de la ville dépendent pour partie de la manière dont sont perçus les réseaux dans le milieu urbain – en particulier le réseau routier.

L'approche du milieu urbain en est d'autant plus complexe, à en juger par exemple par la catastrophe du séisme de Kobé le 17 janvier 1995 qui a prouvé les limites d'un choix de modèle urbain pour la gestion de la ville. La politique de la ville n'avait pas envisagé tous les risques : en l'occurrence, les efforts étaient portés sur la sécurité des piétons et donc la création de zones réservées et étroites. D'abord difficile, ces voies sont devenues inaccessibles après l'effondrement de pans de mur et de mobilier urbain à la suite du séisme, freinant d'autant l'intervention des secours.

Le risque de Transport de Matières Dangereuses sur réseau routier

La particularité du Transport de Matières Dangereuses réside dans **la mobilité des menaces** (grosso modo, "les camions citernes sur les routes"). On parle ainsi de "risque-transport", à différencier avec le "risque-site" qui concerne les menaces des matières dangereuses entreposées [52].

L'étude des risques liés au transport des matières dangereuses trouve ses besoins et motivations pour une approche spatiale dans :

- la connaissance de la configuration géographique de l'existant et des activités liés à la fabrication, au transport et au stockage des matières dangereuses,
- le choix d'une description appropriée de l'espace pour l'étude d'un risque faisant intervenir plusieurs facteurs (ici : entrepôts et flux),
- la différenciation des risques-site et risques-transport : les risques-site impliquent une étude locale avec phénomène de diffusion circonscrit, les risques-transport peuvent être très étendus en raison du phénomène de distribution (notion de produits entrants / produits sortants) – l'approche se fait alors selon la zone de chalandise des dépôts,
- l'influence de la localisation des dépôts sur le risque évalué par l'intermédiaire du double aspect site-transport,
- le support de décision pour l'aménagement de l'espace et la lisibilité de l'information, à partir d'un S.I.G.

Dans cette étude, l'activité même du transport est formalisée par la considération de **deux sources de risques** :

- la constellation ponctuelle des entrepôts pour le risque-site,
- la distribution des camions sur le réseau linéaire routier pour le risque-transport.

L'étude spatiale des risques de T.M.D. fait ainsi appel aux **deux principes** suivants :

- le principe d'éloignement des installations (couplé aux réseaux de communication),
- la pratique du zonage (délimitation de périmètres autour des zones à risque, qu'il s'agisse de flux ou d'entrepôts de matières dangereuses).

Les mesures réglementaires de prévention et de protection liées au risque de T.M.D. sont confrontées au problème typique de "**transfert de risque**". Celui-ci est induit par la logique des réseaux : la délocalisation (ou plus exactement "l'éloignement") d'un site dangereux répartit en effet la menace statique du risque-site sur les routes, et la transforme ainsi en une menace dynamique sous la forme d'un risque-transport (cf Figure 36).

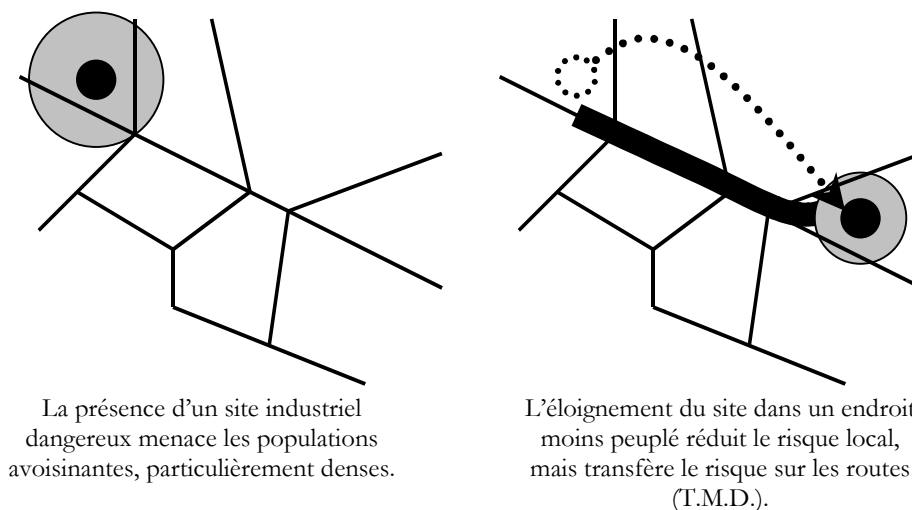


Figure 36 : illustration du principe de transfert de risque, dans le cadre des risques industriels et du T.M.D.

La délocalisation des sites dangereux ne pose pas seulement le problème du transfert des risques, mais également des **manques à gagner** consécutifs à la fermeture de l'industrie pour la commune. Au lendemain de l'explosion de l'usine pétrochimique A.Z.F. de Toulouse en septembre 2001, certains maires de France hésitent à éloigner les sites industriels dangereux de leur commune étant donné les impôts locaux directs que rapportent ce genre d'activités [57].

L'impact économique des défaillances du réseau routier

Dans les bilans de catastrophe, les dommages provoqués par les défaillances du réseau pèsent souvent très lourds (ils sont souvent comparables au montant des dommages structurels directs !) [54].

Les pertes associées correspondent aux dommages tangibles indirects sur le fonctionnement de l'ensemble des activités (activités à vocation économique, mais aussi sociale, de transport, de distribution ou de communication), consécutifs exclusivement aux dommages directs structurels sur le réseau routier.

Ces **perturbations fonctionnelles** dépendent, à la fois :

- de l'importance des coupures enregistrées sur le réseau routier (nombre, localisation, durée) ;
- de l'importance des activités touchées par le dysfonctionnement du réseau routier ;
- de la gravité des désordres causés (*par exemple* : le nombre de personnes privées d'un service suite à l'inaccessibilité de ce dernier, l'augmentation des coûts des secours depuis un hôpital étant donnée la non-disponibilité de certains tronçons de route, etc.) ;
- de la réaction de la société pour remédier à l'endommagement du réseau routier et à la reprise du fonctionnement normal des activités.

Ce sujet de recherche a déjà fait l'objet d'**études**, essentiellement à **dominante économique**.

En 1980, le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie [72] proposait de chiffrer le montant monétaire correspondant aux pertes de temps dans les transports routiers, à la suite de l'endommagement de tronçons de route dus aux effets indirects des crues. Une telle étude nécessite, d'une part, de caractériser les dégâts du réseau routier, c'est-à-dire d'identifier et de caractériser les coupures et les itinéraires de déviation, d'autre part, de déterminer des données économiques de référence concernant l'augmentation du coût de la circulation automobile et les heures de travail perdues.

Ces données de référence ont pour objectif de mettre en relation la rentabilité horaire des investissements routiers et la valeur moyenne de l'heure travaillée : il devient ainsi possible d'avoir une estimation du coût du nombre d'heures perdues compte-tenu des coupures routières pour le scénario de crue envisagé.

Plus récemment, une étude de même type a été menée afin d'évaluer les perturbations routières sur l'ensemble de la région Ile-de-France dans le contexte précis d'une inondation de type 1910 ou 1955, avec ou sans effet des barrages en amont (cf Annexe 3) [60][61].

La méthode consiste à simuler le trafic routier à partir d'un modèle établi par l'I.A.U.R.I.F. (Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France) sur le réseau routier disponible, compte-tenu du scénario de crue retenu. Les résultats sont résumés au nombre total d'heures perdues par scénario, dont l'équivalent monétaire est obtenu selon des barèmes économiques tenant compte de la variabilité du trafic selon l'heure du jour, le jour de la semaine et le nombre de personnes par voiture.

Ces deux manières d'appréhender le problème considèrent les dommages indirects dans leur ensemble, c'est-à-dire en appliquant des règles de calcul agrégeant l'ensemble des activités sinistrées, d'une part, et les comportements individuels, d'autre part.

Cette méthode d'évaluation des dommages indirects engendrés par les dysfonctionnements d'un réseau montre ses limites par son approche exclusivement empirique. De premiers approfondissements seraient nécessaires pour ébaucher un modèle représentatif des perturbations fonctionnelles engendrés par ces dysfonctionnements. Une seconde étape consisterait alors à paramétrer économiquement le coût et les effets de la circulation routière afin d'évaluer les pertes engendrées en fonction des perturbations mises en évidence.

Une approche plus théorique de l'impact des perturbations fonctionnelles du réseau routier consiste à analyser la **fiabilité du réseau**. Celle-ci est évaluée en regard de la sollicitation de chacun des tronçons de route pour mettre en relations les différents acteurs sur le territoire [55]. Le réseau est considéré comme "fiable" si l'ensemble des arcs qui le composent contribue de manière équilibrée à relier les différents points du territoire entre eux, non seulement dans une logique de plus court chemin, mais également en tenant compte des chemins alternatifs (ceux-ci ont en effet toute leur importance dans un contexte de risques où certains tronçons sont amenés à être indisponibles). En parallèle, l'étude permet de juger de

l'accessibilité sur le territoire, compte-tenu de la configuration du réseau et de ses ruptures potentielles. En particulier, l'évolution de cette configuration met en relief la nouvelle distribution des aires d'influence des différentes activités: ce phénomène constitue le problème de **report d'activités** induit par la perturbation des réseaux de transport (cf Figure 37).

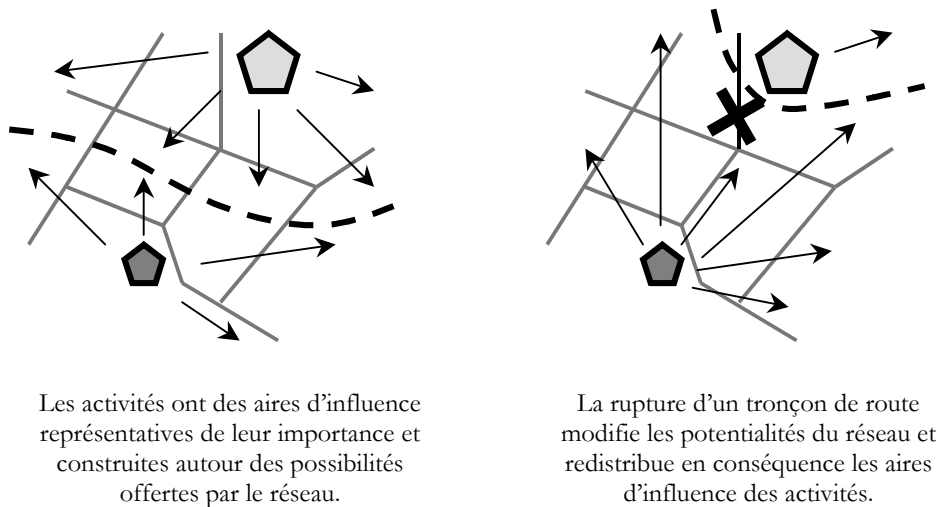


Figure 37 : illustration du principe de report d'activités consécutif à une perturbation du réseau routier

Les difficultés consécutives aux ruptures du réseau routier ne se limitent pas à l'observation des modifications de fonctionnement induites : le réseau est également contraint par sa capacité physique à supporter les flux, et son endommagement structurel peut rapidement conduire à des phénomènes de congestion (surcharge de certains tronçons), voire à l'isolement de certaines parties du territoire d'autre part (déconnexion du réseau).

L'étude des interactions des réseaux entre eux : les notions de vulnérabilité et d'agressivité

Les réseaux sont susceptibles d'être perturbés par les catastrophes, et de provoquer en chaîne des dommages sur les territoires dépendant de ces réseaux. Le fonctionnement des réseaux est cependant plus sournois, puisque l'interdépendance de certains réseaux menace la propagation des sinistres d'un type de réseau à un autre.

L'interaction des interactions fonctionnelles et géographiques entre les réseaux est simplement définie selon deux modes [86] :

- **la Vulnérabilité** : un réseau *R1* est vulnérable vis-à-vis d'un réseau *R2* lorsque le bon fonctionnement de *R1* est conditionné par celui de *R2* : la vulnérabilité correspond ainsi à la dépendance fonctionnelle de *R1* vis-à-vis de *R2*.
- **l'Aggressivité** : un réseau *R1* est agressif vis-à-vis d'un réseau *R2* lorsqu'un accident sur le réseau *R1* peut se transmettre sur le réseau *R2*, par proximité géographique ou interaction : l'agressivité correspond ainsi à la capacité de propagation des accidents du réseau *R1* vers le réseau *R2*.

Ces deux notions ne sont ni symétriques, ni antinomiques comme le démontrent les deux exemples suivants.

- Le réseau ferroviaire est tributaire du réseau électrique : il y a vulnérabilité du premier *vis-à-vis* du second ; en revanche, il n'y a pas agressivité réciproque, car une panne de courant ne provoque pas d'accident matériel sur le réseau ferré.
- Les réseaux routier et autoroutier sont agressifs l'un vis à vis de l'autre car un accident sur l'un peut entraîner la surcharge de l'autre et donc un accroissement des risques d'accidents.

La formalisation de la vulnérabilité et de l'agressivité entre réseaux facilite la définition et la mesure du risque ainsi que la description des scénarios d'aggravation.

Le Tableau 46 résume les différentes interactions entre les réseaux selon les deux modes que nous venons de décrire (A = "agressif vis-à-vis de" et V = "vulnérable vis-à-vis de").

	réseau autoroutier	réseau routier	réseau d'eau	réseau d'assainissement	réseau E.D.F.	réseau G.D.F.	réseau ferroviaire	réseau France Télécom	réseau STOGAZ	réseau Transéthylène
réseau autoroutier		A								
réseau routier	A				V					
réseau d'eau				A	V			V		
réseau d'assainissement										
réseau E.D.F.		A	A	A	V	A		A	A	A
réseau G.D.F.	A	A			V	V		V		
réseau ferroviaire	A	A			V			V		
réseau France Télécom			A	A	V		A	V	A	A
réseau STOGAZ	A	A			V			V		
réseau Transéthylène					V					

Tableau 46 : nature des interactions entre réseaux (source : [86])

Le fonctionnement même d'un réseau peut être considéré au travers de ses dysfonctionnements. Ce moyen d'évaluation implique :

- d'une part d'apprécier **quantitativement** le risque provoquant le dysfonctionnement en question, selon trois échelles de valeur : la vraisemblance (notée *V*), l'intensité (ou criticité, notée *I*) et enfin le coût (noté *C*),
- d'autre part de distinguer **qualitativement** les différents préjudices que peut engendrer le dysfonctionnement – on distingue à ce titre quatre catégories de conséquences numérotées de *E1* à *E4* conformément au Tableau 47.

descriptif des conséquences	destruction des éléments exposés	accident humain	dégradation de l'environnement	discrédit apporté à la ville
rubrique	E1	E2	E3	E4

Tableau 47 : catégorisation des préjudices engendrés par le dysfonctionnement d'un réseau (source : [86])

Ce mode de quantification des conséquences de l'événement (notamment d'un point de vue économique) implique de considérer une zone d'étude beaucoup plus large que celle impliquée par l'accident en intégrant les utilisateurs des autres réseaux dépendants concernés par l'accident.

L'analyse effective du fonctionnement du réseau se fait relativement à son fonctionnement en mode de véhiculation de flux, à savoir :

- l'acheminement du flux,
- la régulation du flux,
- le traitement du flux,
- le confinement du flux.

Ainsi, pour un scénario e envisagé et pour chaque type de conséquences redoutées, on évalue chacun des 3 critères d'appréciation du risque ' VIC '. La notation est significative de la propagation du scénario pour le réseau considéré, conformément à la Figure 33. A titre d'exemple, le Tableau 48 détaille les résultats de l'analyse des dysfonctionnements associés au réseau autoroutier. Le Tableau 49 résume pour onze réseaux différents l'ensemble des préjudices engendrés par tous les dysfonctionnements sur les mêmes catégories de conséquences.

Matrice Synthèse Châteauneuf Réseau autoroutier	E1 destruction des éléments exposés	E2 accident humain	E3 dégradation de l'environnement	E4 discrédit apporté à la ville
e1 : dysfonctionnement du réseau	' VIC ' = 232	334	224	322
e2 : agression issue de l'environnement	32	134	24	122
e3 : indisponibilité d'un réseau d'interface	332	234	124	222
e4 : accident d'un réseau d'interface	232	334	324	222

Tableau 48 : matrice de synthèse du réseau autoroutier (source : [86])

Matrice Synthèse Châteauneuf	E1 destruction des éléments exposés	E2 accident humain	E3 dégradation de l'environnement	E4 discrédit apporté à la ville
Reau assainissement	231	321	332	332
Reau autoroutier	332	334	324	322
Reau eau	232	232	23	232
Reau E.D.F.	232	233	234	222
Reau ferroviaire	333	334	334	324
Reau France Télécom	223	233	223	213
Reau G.D.F.	234	234	224	224
Reau GEOSEL	334	324	334	323
Reau routier	232	334	334	324
Reau STOGAZ	433	434	423	414
Reau Transéthylène	222	224	234	23

Tableau 49 : matrice de synthèse générale pour onze réseaux différents (source : [86])

Le lecteur soulignera en particulier la sensibilité des réseaux routier et autoroutier vis-à-vis des accidents humains et de la pollution de l'environnement (accident type T.M.D.).

En pratique l'évaluation des trois critères ' VIC ' se fait en 3 étapes :

- recensement des réseaux, activités, biens et personnes ;
- réalisation de questionnaires pour les gestionnaires des réseaux, services techniques et services de secours ;
- évaluation des critères en liaison avec ces mêmes acteurs ainsi que les entreprises situées dans la zone.

Synthèse des aspects de l'analyse des risques de réseaux

En guise de conclusion et de perspectives, nous avons voulu regrouper dans cette sous-partie une synthèse des méthodes adoptées, des difficultés rencontrées ainsi que les thèmes de recherches futurs suggérés dans les différentes analyses des risques liés aux réseaux [24][58][84][86].

L'approche des risques de réseaux nous a semblé se particulariser au travers des **points d'études** suivants :

- la définition des réseaux étudiés : choix d'un niveau d'étude étant donnée la double complexité des réseaux (interaction du réseau avec l'environnement + interactions des différents réseaux entre eux) ;
- la définition de la géographie des types d'"espace" considéré : espace origine des risques, espace d'apparition des accidents, espace de propagation des effets des accidents, etc. – une représentation synthétique du profil de risques de la zone trouve notamment son intérêt dans la visualisation et la représentation du risque (niveau, exposition...) ;
- la définition exacte des vulnérabilités et des dommages pris en compte dans l'analyse : le réseau entraîne en effet des vulnérabilités à tous les niveaux (financière, matérielle, humaine, fonctionnelle, etc.) et des dommages potentiels de natures très différentes (directs/indirects, tangibles/intangibles, etc.) ;
- l'intégration des composantes techniques et humaines dans la notion de risque : choix d'un mode représentatif d'évaluation du risque, prise en compte de la part qualitative du facteur humain (la plupart des sinistres sur réseaux sont en effet dus à l'"agression humaine") ;
- l'organisation et la hiérarchisation des informations : de par la dépendance des composants d'un réseau et l'inter-dépendance des réseaux eux-mêmes, l'étude nécessite une pré-synthèse des informations relatives au fonctionnement des réseaux afin d'élaborer une stratégie de maîtrise du dysfonctionnement.

A l'occasion de ce type d'étude, plusieurs **difficultés** sont apparues récurrentes :

- la multiplicité des acteurs et responsables au regard de la conception, de la réalisation, de l'exploitation et de la maintenance des réseaux : cet état de fait freine à la fois le partage des informations et des expériences et la maîtrise même des risques – par ailleurs, le phénomène est particulièrement marqué entre réseaux publics et réseaux privés à cause de la divergence de leurs enjeux ;
- le fondement des méthodes de gestion des réseaux sur la maintenance et moins sur la conception (à l'image des installations industrielles) : faute de prévoir la conception à la prévention, les vulnérabilités relatives de différentes conceptions de réseaux ne sont pas comparables.

Certaines de difficultés restent en définitive sous forme de questions ou de **thèmes de recherche** :

- à propos de la modélisation des réseaux :
 - est-il possible de formaliser l'impact réciproque des réseaux entre eux de manière plus précise qu'une simple matrice réseau × réseau recensant les différentes vulnérabilités et agressivités ?
 - doit-on distinguer la vulnérabilité pour un espace donné selon qu'il est traversé ou desservi par un réseau ?
- à propos de la gestion des réseaux :
 - doit-on distinguer les réseaux selon la notion de sécurité, en d'autres termes, doit-on faire la part des réseaux où la sécurité est entièrement à la charge de l'opérateur (type réseau d'eau : "l'utilisateur tire de l'eau") et de ceux où les utilisateurs interagissent sans cesse entre eux (télécommunications, transports...) ?
 - comment prendre en compte la diminution de risques engendrée par la possibilité de solutions alternatives lorsqu'il y a redondance des réseaux... et inversement ?
- à propos de la dimension territoriale des réseaux comme paramètre de développement d'infrastructure :
 - le terme de "solidarité" est ambigu, car il peut signifier "au secours de" comme étymologiquement "faire corps" : par conséquent, comment globaliser l'approche des réseaux à partir de leur connexion et des nouvelles vulnérabilités et fiabilités engendrées ?
 - les réseaux d'aujourd'hui sont-ils le reflet d'enjeux de pouvoirs ou des "conglomérats d'intérêts divers" à diverses localisations et diverses échelles ?
 - plus généralement, comment la société se recompose-t-elle à travers les réseaux ?

Annexe 1 : La méthode *Inondabilité* pour la prévention du risque d'inondations

La méthode *Inondabilité* a été élaborée par le C.E.M.A.G.R.E.F. pour orienter les décisions d'aménagement dans un contexte de risque d'inondations. Cette méthode est essentiellement fondée sur la prise en compte des enjeux économiques, jugés au travers des périodes de retour que sont prêts à accepter les populations. Cette annexe présente les grandes lignes de cette méthode [22][45][46][48][81].

Rappels sur le risque d'inondations et l'aménagement des rivières

Une rivière représente une ressource en eau pour des activités humaines et des fonctions naturelles et abrite un écosystème spécifique. Le risque associé résulte de la variabilité naturelle du système, elle-même sujette aux variations climatiques. Le risque résulte aussi du conflit entre le fonctionnement normal de la rivière et l'usage anthropique des terrains situés dans le lit mineur.

Le risque d'inondations se caractérise par l'éventualité du débordement d'une rivière (aléa) dont les conséquences pourraient être dommageables (vulnérabilité). Le risque correspond alors au croisement aléa \times vulnérabilité. Une parcelle est considérée à risque s'il y a incompatibilité entre l'aléa auquel elle est soumise et la vulnérabilité qu'on lui affecte. Aléa et vulnérabilité sont toutes deux des grandeurs continues (les crues sont d'intensité variable, et la vulnérabilité s'échelonne du marécage à la centrale nucléaire en passant par les zones d'habitat).

Principe de la méthode

La méthode *Inondabilité* est une méthode de quantification de niveau de risque d'inondation par zone. Au sein de la région d'étude considérée, la méthode permet de distinguer deux types de zones inondées :

- **les zones sous-protégées** : il s'agit des zones pour lesquelles le risque est positif, c'est-à-dire où $\text{aléa} \geq \text{vulnérabilité}$,
- **les zones surprotégées** : il s'agit des zones pour lesquelles le risque est négatif, c'est-à-dire où $\text{aléa} < \text{vulnérabilité}$.

On parle aussi respectivement de zones à déficit de protection et de zones à crédit de protection.

De ce fait, la méthode *Inondabilité* implique que les deux composantes du risque – à savoir aléa et vulnérabilité – s'expriment dans les mêmes unités. L'originalité d'une telle démarche est assurée par la notion de **Risque Maximum Acceptable (R.M.A.)** : le niveau d'aléa retenu correspond globalement à l'option la plus acceptable pour l'agent économique. Autrement dit, au sein de l'ensemble ordonné des événements dommageables caractérisés par leur fréquence et leur ampleur, le R.M.A. correspond à l'événement limite que l'on est prêt à subir économiquement.

L'analyse de l'aléa fait appel à deux domaines d'étude des cours d'eau :

- l'hydrologie : science étudiant la production d'eau dans les rivières (pluviométrie, débitimétrie, etc.),
- l'hydraulique : science étudiant les transferts de l'eau dans le temps et dans l'espace, à l'échelle du bassin versant (écoulements, stockages d'eau, etc.).

L'hydrologie ne fait pas l'objet de méthode centrale : dans cette optique, la méthode *Inondabilité* propose des techniques de description aléatoire des pluies et des débits afin de caractériser l'aspect probabiliste des crues.

L'hydraulique découle d'un seul modèle conceptuel (les équations de Barré de Saint-Venant), permettant ainsi d'obtenir aisément l'impact d'une crue donnée, autrement dit l'aléa associé à la période de retour de la crue.

L'analyse de la vulnérabilité jauge la sensibilité de l'occupation des sols aux inondations. Classiquement, la vulnérabilité s'exprime comme l'espérance des dommages causés par un événement caractérisé par son aléa. Dans la méthode *Inondabilité*, la vulnérabilité intègre la notion d'aléa en ce sens qu'elle correspond à l'aléa associé à l'événement limite acceptable. La caractérisation de l'événement limite repose essentiellement sur des normes étant donnée l'occupation des sols.

Ainsi, la vulnérabilité et l'aléa sont directement comparables et permettent d'apprécier le niveau de risque de chaque parcelle du territoire.

La Figure 38 synthétise les différentes étapes de la méthode.

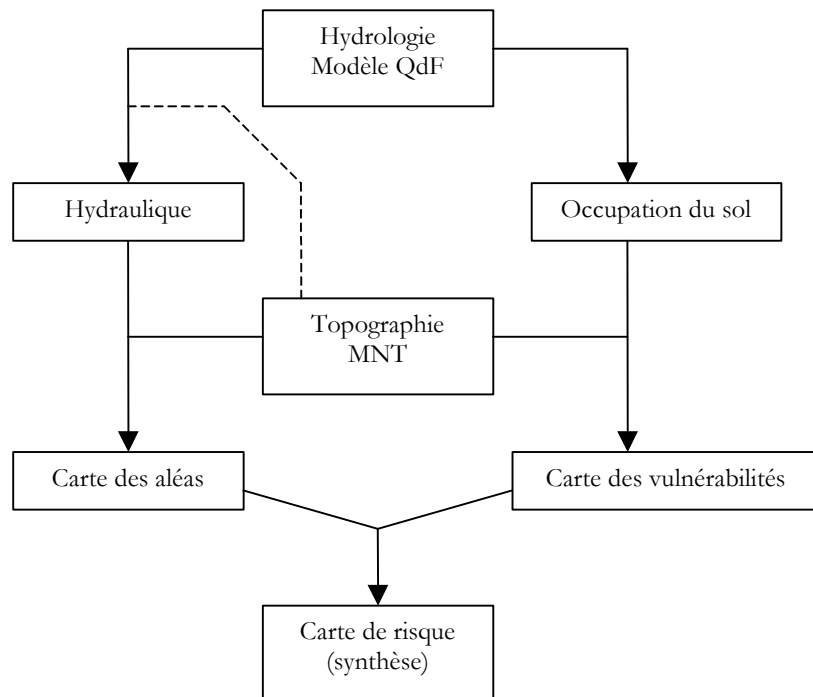


Figure 38 : organigramme simplifié de la méthode *Inondabilité* (source : [48])

L'hydrologie au service de l'analyse de l'aléa

Les mesures brutes effectuées sur les cours d'eau sont des mesures de hauteur, que l'on convertit en débit à partir de paramètres concernant le cours d'eau. Le débit est une grandeur possédant l'avantage d'être conservative. L'information obtenue est très variable et présente des pics aléatoires en taille et dans le temps. A cet effet, on choisit de raisonner, non pas en temps courant, mais en période de retour : pour un événement donné, celle-ci correspond à l'inverse de la probabilité annuelle d'occurrence de l'événement.

La détermination du débit associé à une période de retour donnée est réalisée à partir de méthodes statistiques issues de la théorie des valeurs extrêmes. Grosso modo, plus la chronique d'observation est longue, plus on estime des périodes de retour importantes.

Remarque : en pratique, la détermination d'une crue centennale nécessite 50 ans de mesure. Il faut bien voir qu'en France, on dispose couramment de 20 à 30 ans de mesures seulement.

Le diagramme débit-période de retour obtenu n'est valable que jusqu'à un certain seuil, correspondant à la limite entre le domaine des observations et le domaine des extrapolations. Une extrapolation simple du premier domaine au second conduirait à des sous-estimations. La méthode *Inondabilité* corrige ce biais en faisant l'hypothèse de saturation du bassin versant. Le raisonnement est le suivant : les crues sont essentiellement dues aux pluies, et donc, à partir d'un certain seuil, le bassin versant n'est plus en mesure d'absorber les pluies et la courbe des débits s'ajuste sur celle des pluies (selon la loi de Gumbel, utilisée dans la méthode du Gradex de Guillot et Duband, 1968) – cf Figure 39.

Remarque : en pratique, l'ajustement ne fait l'objet d'un consensus international et peut être réalisé de différentes manières. Par ailleurs, la difficulté de validation des crues extrêmes demeure toujours et nécessite entre autre une analyse régionale des crues et une intégration des crues historiques.

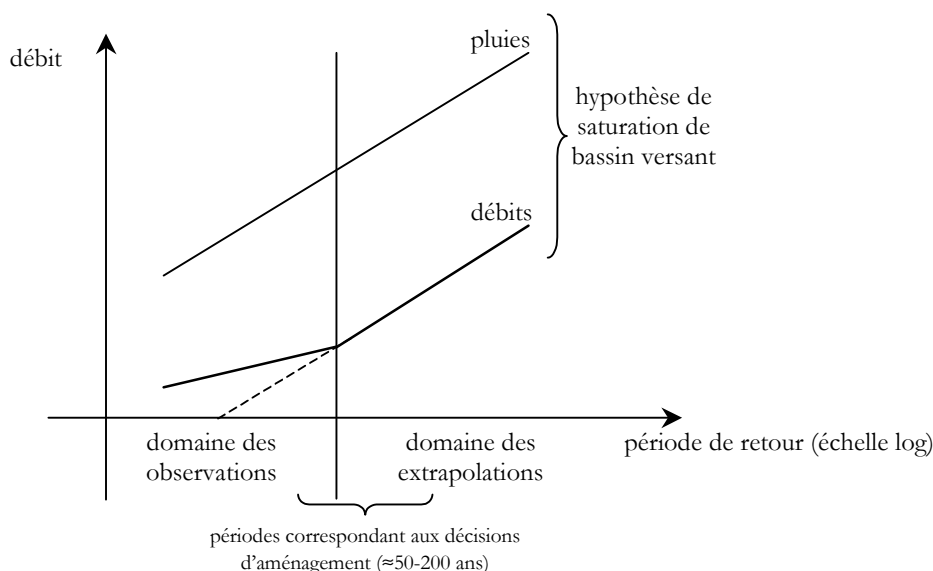


Figure 39 : allure des courbes pluies et débits en fonction de la période de retour (source : [46])

La constante intervention de la durée d de la crue dans les équations permet d'obtenir les diagrammes QdF "débit – durée – fréquence" dont la forme générale est donnée dans la Figure 40 :

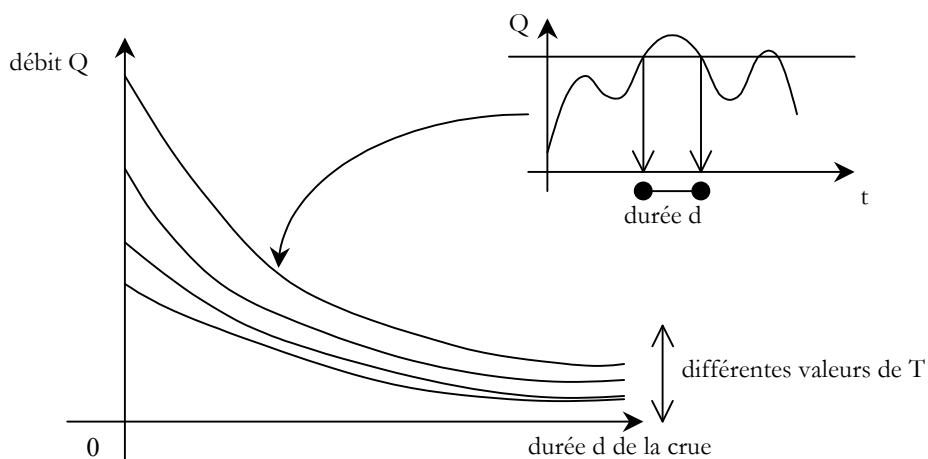


Figure 40 : courbe "débit – durée – fréquence" QdF (source : [46])

On peut tout aussi bien faire intervenir d'autres grandeurs x en lieu et place du débit Q , telles que l'intensité de la pluie I ou la hauteur d'eau ζ ... D'une manière générale, les diagrammes $x d F$ ont une grande exploitabilité, notamment au travers des "projections" : par exemple, $d = 0$ correspond au diagramme des pointes de crues tandis que $\zeta = 0$ correspond au diagramme des débits juste inondant.

Elles permettent de raisonner en variables équivalentes et d'aborder le risque en terme d'aléa mais aussi de vulnérabilité. La construction de ces nouvelles variables facilite la cartographie, permet l'étude relative des volumes d'eau et renseigne sur les impacts des aménagements conséquents. Lorsque l'on souhaite étudier des événements pour des périodes de retour T plus ou moins rares – dépassant en tout cas le cadre des observations, on fait appel à des méthodes d'extrapolation, consistant en une agrégation de sous-modèles au sein du modèle AGREGEE.

L'hydraulique au service de l'analyse de l'aléa

La connaissance précise des aléas en tout point de la zone nécessite de disposer d'un modèle hydraulique représentatif afin de pouvoir simuler toute crue en fonction de sa période de retour T . Cela implique en premier lieu de connaître avec une grande précision la topographie de la zone d'étude, grâce à un M.N.T. Le cœur de ces modèles hydrauliques est constitué par les équations d'écoulement en cours d'eau de Saint-Venant. Pour ce faire, il est donc nécessaire de connaître l'hydrogramme de la crue, la topographie de la zone ainsi que la modélisation retenue pour les écoulements.

Modélisation de la crue

L'étude d'impact se faisant pour une fréquence donnée, on raisonne sur des hydrogrammes théoriques : les H.S.M.F. (Hydrogrammes Synthétiques Mono-Fréquence). Ils sont une synthèse d'un modèle triangulaire d'hydrogramme et des hydrogrammes observés pour des crues historiques, conformément à la Figure 41.

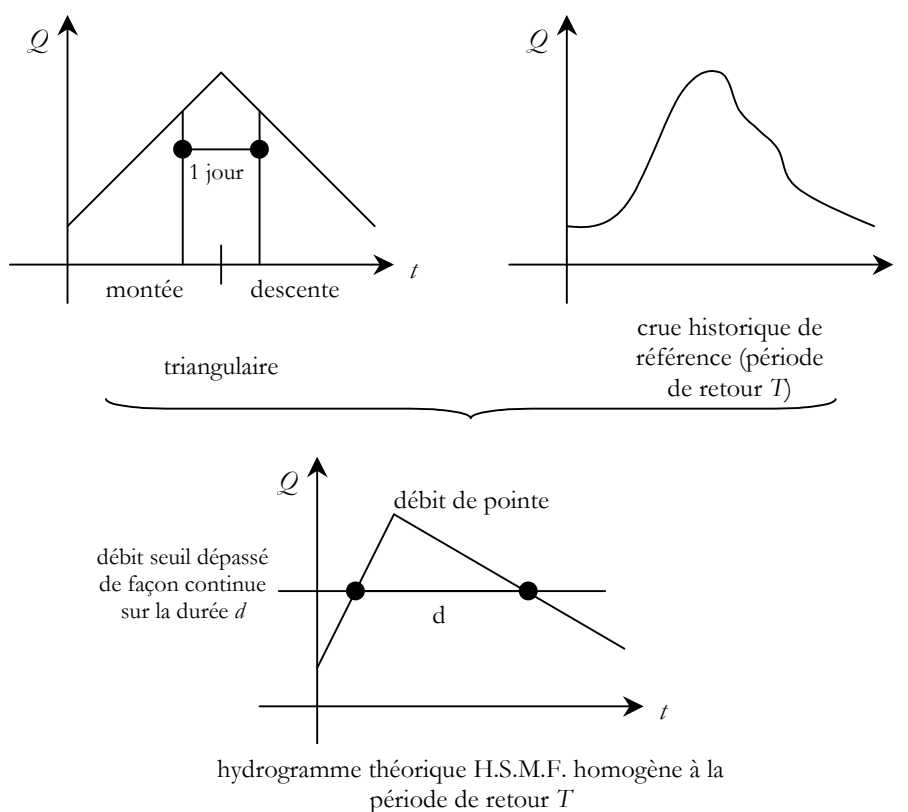


Figure 41 : principe des Hydrogrammes Synthétiques Mono-Fréquence (source : [46])

Ces diagrammes sont des standards que l'on utilise pour plusieurs bassins ou cours d'eau à "caractéristiques" similaires.

Modélisation de la topographie

On a besoin d'une bonne connaissance de la topographie du cours d'eau, tant au niveau de la topologie même du cours d'eau que des informations sur les ouvrages, les sections transversales, etc. En termes mêmes de topographie, les contraintes concernent :

- le lit mineur en priorité (\leftrightarrow lit où s'écoule le fleuve en temps normal),
- la précision des levés en altitude car c'est elle qui détermine s'il y a débordement ou non.

Les courbes I.G.N. ne fournissant que des courbes de niveau tous les 5 mètres, l'information topographique provient de :

- l'information satellitale précise à 1 mètre,
- la photogrammétrie aérienne, précise en altitude à 10-20 cm mais sans pénétrer le lit mineur,
- mesures topographiques directes.

En pratique, c'est à partir de ces données qu'est généré le M.N.T. (Modèle Numérique de Terrain) à partir duquel les écoulements vont être étudiés.

Modélisation des écoulements

Comme cela a été annoncé plus haut, le modèle reprend les équations de Saint-Venant, avec comme variables le débit $Q(t)$ et la hauteur $h(t)$. Il reste cependant certains problèmes concernant :

- les conditions aux limites : on utilise entre autre le coefficient de Strickler pour modéliser la dissipation d'énergie,
- la représentation de l'environnement : 1D / 2D, régime transitoire / permanent, mailles / ramifications, etc. en fonction de la nature du problème et du cours d'eau...

Illustration de la modélisation physique des écoulements : l'effet des surfaces de rétention sur la forme de l'aléa

Les crues inondantes sont le résultat d'écoulement d'énormes volumes d'eau, comparativement à la taille normale des lits. Cela exige de pouvoir les prendre en charge transitoirement par de vastes surfaces de rétention.

La loi de la conservation de la masse milite pour un ralentissement des débits. L'évacuation accélérée des crues réduit peut-être localement l'aléa (aux ruptures d'équilibre près), mais déplace le problème et menace l'aval de forts excès de volumes d'eaux.

La Figure 42 illustre la modification temporelle du débit induit par la présence de surfaces de rétention. La Figure 43 cartographie les emprises différentes des deux types de crue, déduites des modèles hydrauliques.

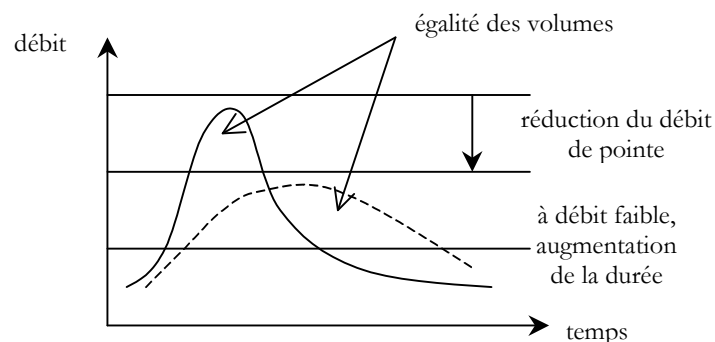


Figure 42 : représentation temporelle de la loi fondamentale de la conservation des volumes (source : [81])

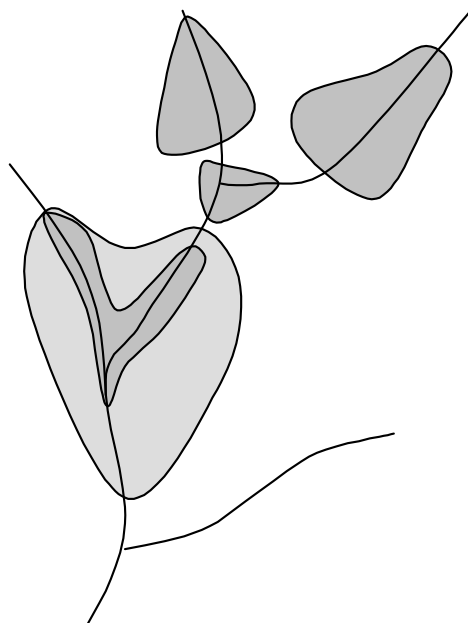


Figure 43 : représentation spatiale de la loi fondamentale de la conservation des volumes (source : [81])

L'analyse de l'aléa

Elle consiste à intégrer les hydrogrammes de crues sur tout le linéaire de la rivière. Elle nécessite donc, outre la connaissance des courbes QdF et des hydrogrammes de projet :

- de **connaître les données** sur tous les sites de l'étude par transfert spatial des données observées localement,
- d'**analyser les concomitances de crues sur les confluences**. Ce point relève du problème de la "dérive en fréquence". Par exemple, des périodes de retour de 10 ans en amont et aux affluents entraînent une période de retour nettement supérieure à 10 ans au confluent. Il faut donc ajouter une contrainte de monofréquence dans la reconstitution des hydrogrammes juste en amont et juste en aval des confluences.

Compte-tenu des techniques précédemment décrites, la **cartographie de l'aléa** représente finalement l'emprise des crues sur la carte, pour différentes périodes de retour considérées.

Il est impératif de choisir l'échelle optimale de représentation avec soin : une échelle insuffisamment précise conduira à une perte de pertinence en matière de prévention, tandis qu'un niveau de détail trop fin favorisera les contestations.

En pratique, l'échelle recommandée est le 1/10000^{ème} : l'aménagement et la planification sont facilités et le foncier reste encore bien lisible (son échelle de représentation se situant classiquement aux alentours du 1/5000^{ème}). L'échelle du 1/25000^{ème} n'a d'intérêt que pour des projets de planification au niveau inter-communal ou régional.

Les cartes d'aléa peuvent être synthétiques et représenter le Taux d'Aléa Local (T.A.L., correspondant à l'aléa dans la méthode) en 2 dimensions (c'est le cas de la méthode *Inondabilité*), ou bien interpréter l'aléa en aléas élémentaires et représenter les différentes composantes (profondeurs, vitesses, etc.) sur un fond maillé en 3 dimensions.

L'analyse de la vulnérabilité

La vulnérabilité représente la sensibilité de l'occupation des sols aux inondations.

Classiquement, l'analyse de la vulnérabilité conduit à **définir un objectif de prévention** correspondant à un compromis entre le coût de protection et les dégâts déplorés (cf Figure 9 dans la partie consacrée au risque). Plus précisément :

- l'objectif de prévention est associé à un aléa – ici la période de retour de la crue contre laquelle on doit se protéger,
- le compromis protection/dégâts correspond au minimum économique du coût total protection+dégâts.

Dans la méthode *Inondabilité*, la vulnérabilité s'exprime directement sous la forme d'un aléa : pour chaque parcelle de la zone étudiée, on définit en effet la vulnérabilité comme la période de retour acceptable des inondations. La notion introduite ici est couramment appelée "**Risque Maximum Acceptable**" (R.M.A.). Il est manifeste que le R.M.A. n'est pas une grandeur observable, mais se déduit d'une démarche fondée sur une connaissance de la situation dans sa globalité. Il tient compte :

- des paramètres physiques des inondations potentielles (profondeur, durée, vitesse...),
- de l'occupation du sol,
- de l'aversion au risque des personnes concernées (exploitants, industriels, habitants, etc.).

Ainsi, selon ces critères, la vulnérabilité est quantifiée sur chaque parcelle par une période de retour T et une durée d d'inondation acceptables. Les valeurs attribuées en pratique s'inspirent de normes, comme par exemple :

- pour une zone urbaine : $d =$ instantanée, $T = 100$ ans,
- pour un habitat dispersé : $d =$ instantanée, $T = 10$ à 50 ans,
- pour un verger : $d = 1$ jour à 1 mois, $T = 5$ ans,
- pour des peupliers : $d = 3$ jours, $T = 2$ fois par an,
- pour une friche : $d = 1$ semaine, $T = 3$ fois par an...

La vulnérabilité s'exprime ainsi dans la même unité que l'aléa. Cartographiquement, chaque parcelle de la zone étudiée porte en attribut la période de retour acceptable qui lui est associée.

De fait, **les cartes de vulnérabilité** de type *Inondabilité* représentent la vulnérabilité comme des niveaux maximum d'aléa acceptables. Cependant, la décomposition de la vulnérabilité en aléas élémentaires maximum acceptables est difficile et conduit souvent à des résultats illisibles. La transformation des différentes composantes de la vulnérabilité pour la cartographie unique du T.O.P. (Taux d'Objectif minimal de Protection, correspondant au champ "vulnérabilité" de la méthode) se révèle de fait suffisante et plus lisible.

La synthèse risque = aléa + vulnérabilité : la cartographie des zones à risques

En termes de risque, la méthode *Inondabilité* confronte aléa et vulnérabilité afin de déterminer la mesure de l'écart local "Delta" (écart local entre aléa (T.A.L.) et vulnérabilité (T.O.P.)). Compte-tenu des passerelles existant entre les différentes caractéristiques de l'aléa, le Delta peut être exprimé comme un excès ou un déficit de protection vis-à-vis d'un volume d'eau. On est ainsi amené à distinguer 3 zones :

- **les zones non inondées** : aléa = 0,
- **les zones inondées de façon acceptable** : aléa < vulnérabilité \Leftrightarrow risque négatif, zones surprotégées ou à "crédit de protection",
- **les zones inondées de façon inacceptable** : aléa \geq vulnérabilité \Leftrightarrow risque positif, zones sous-protégées ou à "déficit de protection".

Aménageur et décideur disposent ainsi d'un document cartographique lisible, mettant en relief les zones d'intervention prioritaires.

Comme pour tout risque, **les moyens d'action** se déploient autour de :

- l'aléa : une manière de réduire le risque consiste à réduire l'aléa, en effectuant par exemple des travaux structurels sur le cours d'eau,

- la vulnérabilité : une manière de réduire le risque consiste à réduire la vulnérabilité, en modifiant par exemple l'occupation des sols.

Il ne faut cependant pas perdre de vue que :

- **la réduction de l'aléa** à un endroit va l'augmenter à un autre endroit, de par le caractère incompressible de l'eau,
- l'aménagement de protections est soumise à la fameuse "**spirale de l'aménagement**" (cf Figure 10 dans la partie consacrée au risque) : celui-ci entraîne une baisse du coût moyen annuel de protection en même temps qu'une hausse des dommages résiduels dus à une vulnérabilité accrue, et conduit à un déplacement de l'objectif de prévention vers des périodes de retour de référence plus élevées (cf courbe des dégâts), donc encore plus coûteuses en termes d'aménagement.

Conclusion

La méthode *Inondabilité* propose une approche pertinente de l'aléa et de la vulnérabilité en termes d'inondations, permettant ainsi la synthèse d'un document cartographique adapté aux décisions d'aménagement de cours d'eau.

Dans l'analyse de l'aléa, les modèles débit-durée-fréquence permettent de passer d'une représentation du fonctionnement du cours d'eau et de son bassin versant en temps courant t à une représentation en période de retour T . La variable durée d permet par ailleurs une approche complète en vue de l'aménagement du cours d'eau.

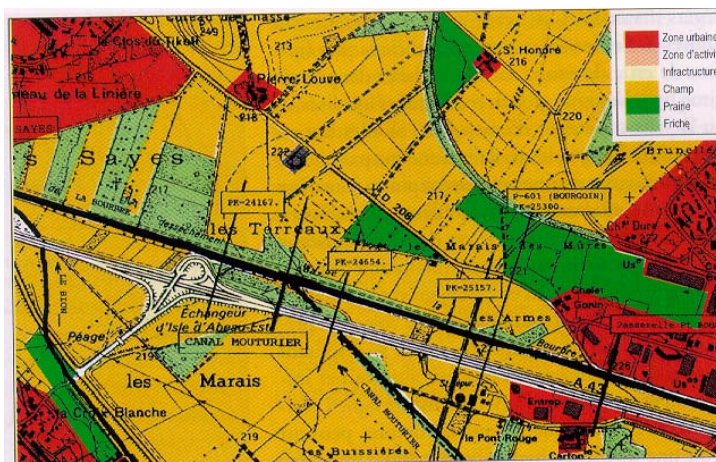
Dans l'analyse de la vulnérabilité, le concept de Risque Maximum Acceptable permet de mesurer la sensibilité de l'occupation des sols aux inondations dans la même unité que l'aléa.

La carte comparative des deux notions fait apparaître 3 types de zones (non inondées / inondées de façon acceptable / inondées de façon inacceptable) et facilite ainsi la hiérarchisation des priorités d'aménagement et de mise en place de structures de protection.

Les recueils de cartes ci-après (Carte 18 et Carte 19) illustrent l'utilisation de la méthode *Inondabilité* pour l'aménagement de la vallée de la Bourbre (Isère).

Carte n°1 : carte des objectifs de protection

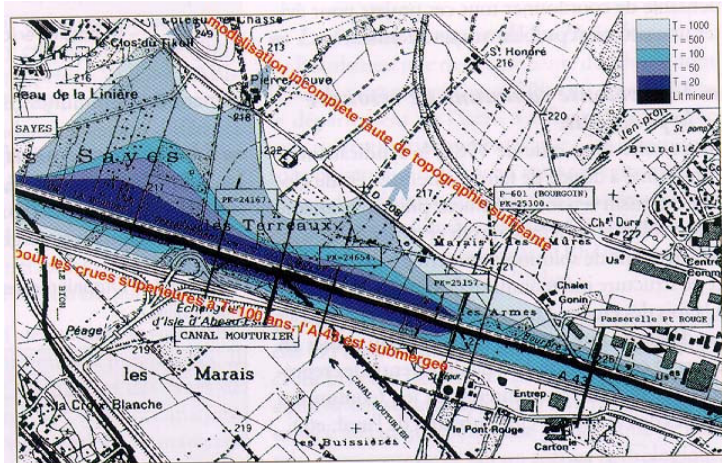
Situation initiale de l'occupation du sol. En sombre apparaissent les zones vulnérables type zone urbaine ou zone d'activité avec des T.O.P. (période de retour équivalente à l'objectif de protection) de 100 ou 50 ans. En clair, les zones plutôt rurales avec des T.O.P. entre 5 et 0,1 an.



Carte n°2 : carte des aléas

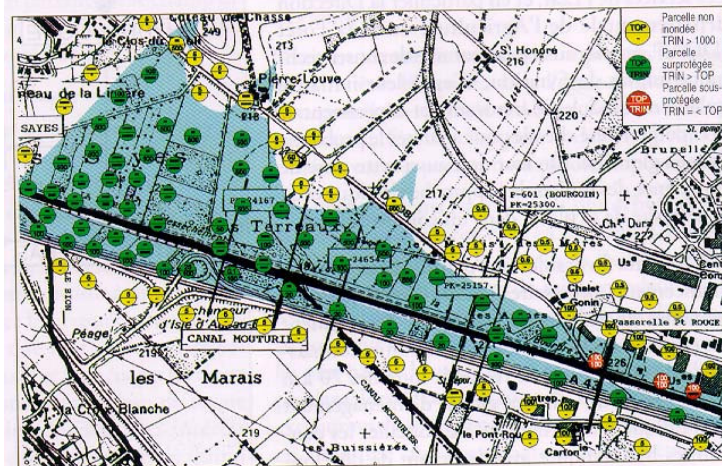
Situation initiale de l'aléa, c'est-à-dire les zones inondées pour des crues de différentes périodes de retour entre 20 et 1000 ans.

On remarquera cependant que la topographie insuffisante n'a pas permis de modéliser correctement les extensions de zones inondables vers le nord (ancienne Bourbre) et au sud de l'autoroute (qui est submergée pour $T = 100$ ans).



Carte n°3 : carte de synthèse

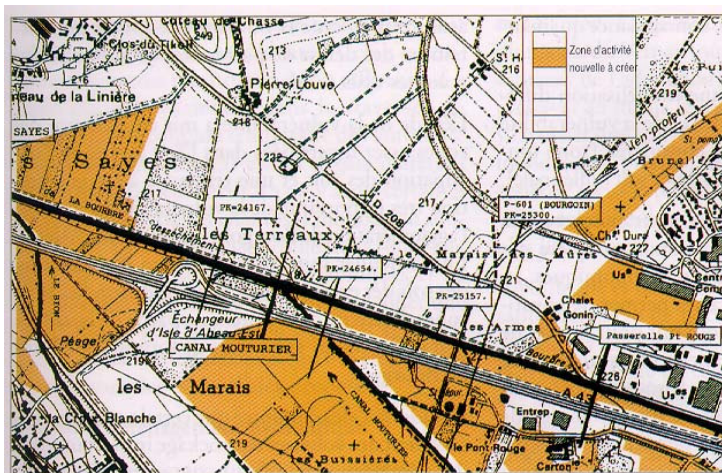
Synthèse en terme de risque dans la situation initiale. Les parcelles à problème (aléa plus fort que vulnérabilité) apparaissent avec des pastilles rouges. Les pastilles vertes montrent une bonne adéquation du niveau d'aléa et de la vulnérabilité estimée. Très peu de problèmes apparaissent puisque seules quelques parcelles à droite de la carte et riveraines du lit mineur sont concernées.



Carte 18 : la méthode *Inondabilité* appliquée à la vallée de la Bourbre – situation initiale : occupation des sols et vulnérabilité, zones inondées et aléas, synthèse du risque avant aménagement (source : [48])

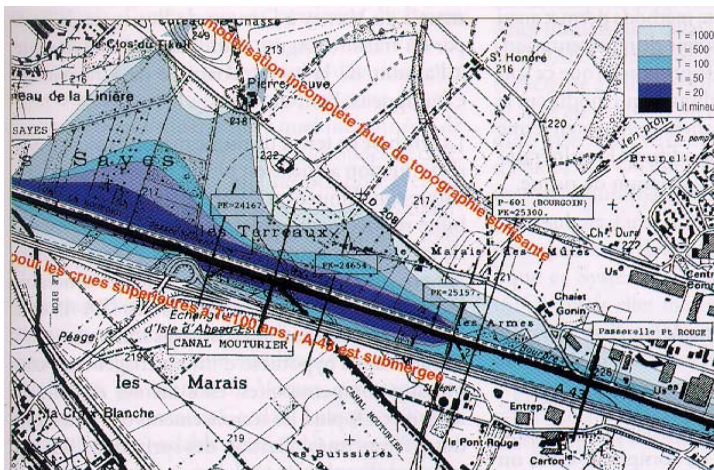
Carte n°4 : carte des modifications du P.O.S.

Sur chacune des parcelles concernées, le T.O.P. faible cartographié sur la carte 1 est modifié et prend une valeur plus forte (50 ou 100).

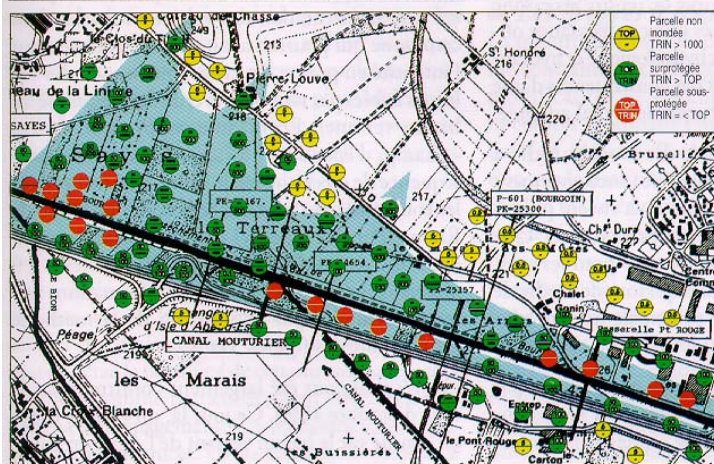


Carte n°5 : carte des aléas.

En l'absence de travaux hydrauliques la carte n'est pas modifiée par rapport à la situation initiale.

**Carte n°6 : carte de synthèse**

Elle met en évidence une forte aggravation du risque puisque toutes les parcelles situées sur la gauche de la carte ainsi que celles situées entre la Bourbre et l'A-43 passent au rouge.



Carte 19 : la méthode *Inondabilité* appliquée à la vallée de la Bourbre – situation après aménagement : l'aménagement consiste en une modification du P.O.S. dont on étudie l'impact en matière de risque (source : [48])

Résultats et perspectives de la méthode *Inondabilité* appliquée à la vallée de la Bourbre

L'étude *Inondabilité* a permis une prise de conscience d'un certain nombre de faits, implicitement connus. L'étude hydrologique à l'aide des modèles *QdF* a permis de quantifier les régimes des affluents et en particulier leurs disparités rive droite – rive gauche. L'étude de la vulnérabilité a notamment mis en évidence l'accroissement des enjeux autour de l'agglomération de Bourgoin-Jallieu – L'Isle d'Abeau. L'étude de l'aléa a montré que certaines zones présentaient des volumes de stockage importants en cas de débordements. La synthèse de risque est bonne (peu de zones à risque positif et déficits de protection faibles), mais les aménagements urbains, industriels, routiers et ferrés envisagés sont inquiétants.

L'analyse de risque a été appuyée par la survenance d'une crue éclair en 1993. La connaissance précise du risque pour ce bassin versant conduit à établir un schéma d'aménagement hydraulique. Il s'agirait en premier lieu de négocier les débordements temporaires en période de crue dans les zones rurales. Dans les zones d'enjeux majeurs, il faut veiller à conserver le caractère inondable des marais situés juste en amont. Une augmentation même de ce caractère inondable permettrait de réduire encore le risque en aval.

La mesure du risque le long d'un cours d'eau évolue constamment : toute intervention au niveau de l'occupation des sols, de l'hydraulique d'un ouvrage ou d'un tronçon de cours d'eau peut modifier l'aléa ou la vulnérabilité – donc le risque. Le caractère aléatoire des phénomènes physiques et le niveau de protection actuel conduisent à une perte de mémoire du risque et à une tolérance du risque d'autant plus faible que celui-ci est rare. La facilité de compréhension et de diffusion des outils cartographiques est contrebalancée par sa lourdeur de mise en œuvre : il apparaît urgent de mettre en place des outils de visualisation interactive, permettant entre autre la simulation de scénarios.

Annexe 2 : Le Damage Index 1999

Les travaux que nous présentons dans cette annexe ont été développés par le N.H.R.C. (Natural Hazards Research Center) de l'Université de Macquarie (Australie) – centre de recherche en partenariat avec de nombreuses compagnies d'assurance [79].

Ces travaux ont pour objet de proposer une méthode de quantification des dommages sur la base d'une échelle de valeur unique, afin de s'affranchir des nombreux tableaux, échelles et fonctions d'endommagement utilisés dans le domaine assurantiel. Cette unité – le Damage Index 1999 – permet ainsi la comparaison et la sommation des dommages sur des bâtiments, à des localisations et pour des risques tous autant différents les uns des autres. Les dommages sur les machines, appareils et moyens de transport – bien que couverts par les assurances – n'ont pas été considérés.

La notion de Ratio de Remplacement

On considère l'habitation élémentaire “maison” pour définir le coût surfacique de référence C_0 . Après compromis entre les habitations “légères” (maisons de vacances, préfabriqués...) et les habitations “lourdes” (immeubles de belle finition, habitations de confort...), la valeur retenue est : $C_0 = 800\$/m^2$.

A chaque type de bâtiment est également associé un coût de surfacique C et, par inférence, un ratio de coût (surfacique) par comparaison avec le coût de surfacique de référence C_0 .

C désignant le coût surfacique d'un bâtiment et S sa surface effective (respectivement C_0 et S_0 pour une maison moyenne dite de “référence”), on définit le **ratio de remplacement RR** comme **indicateur comparatif du coût de remplacement du bâtiment par rapport au coût de remplacement d'une maison moyenne**, en accord avec la Formule 22.

$$RR = \frac{\text{prix unitaire du bâti}}{\text{prix unitaire d'une maison moyenne}} = \frac{C \times S}{C_0 \times S_0}$$

Formule 22 : définition du ratio de remplacement (source : [79])

En d'autres termes, si l'on appelle “ratio de surface” le nombre de maisons constructibles sur l'emprise du bâtiment, le ratio de remplacement peut s'exprimer selon la Formule 23.

$$RR = \text{ratio de coût} \times \text{ratio de surface}$$

Formule 23 : ratio de remplacement en fonction du ratio de surface (source : [79])

Le N.H.R.C. propose en premier lieu une estimation des quantités précédemment définies pour un ensemble de bâtiments types recensés dans le Tableau 50.

Type de bâtiment	coût surfacique (\$/m ²) C	ratio de coût C/C_0	emprise (m ²) S	ratio de remplacement $RR=(C*S)/(C_0*S_0)$	commentaires
maison « moyenne » (référence)	$C_0=800$	1.0	$S_0=180$	1.0	3 chambres
garage	400	0.5	20	0.1	
école	1100	1.4	3000	23	25 classes
hôpital	2200	2.75	3200	49	60 lits à 120k\$ l'unité
motel	1500	1.9	700	7	moyenne de 50k\$ par unité
commerce	630	0.8	100	0.45	équipements inclus
supermarché	1130	1.4	2000	16	
bureaux	1750	2.2	100	1.2	qualité standard
bureaux sur 4 à 7 étages	2100	2.6	3000	44	

Tableau 50 : valeurs des ratios de remplacement en Australie (source : [79])

Les “Central Damage Values” (C.D.V.) ou “indicateurs médians des dommages”

La valeur économique de chaque type de bâtiment étant bien définie, la méthode du Damage Index introduit maintenant l'indicateur **C.D.V.**, qui n'est rien d'autre qu'un **taux d'endommagement moyen**. Le principe de la démarche consiste à définir des classes de dommages sur le bâtiment en fonction des aléas naturels et de leur magnitude. Ces différentes classes sont matérialisées par des intervalles centrés sur des valeurs du **C.D.V.** Ces indicateurs médians correspondent pour chaque classe et chaque aléa considéré au **ratio de destruction des bâtiments**, équivalent d'une valeur moyenne du taux d'endommagement sur la classe de dommages considérée. Le **C.D.V.** varie donc entre 0 et 1 ; les dommages décrits correspondent aux dommages maximums pour la classe étudiée. Le Tableau 51 propose des valeurs de **C.D.V.** pour les différents modes d'endommagement d'une maison, à la suite de cyclones, mouvements de terrain, incendies et inondations.

<i>C.D.V.</i>	0.02	0.10	0.40	0.75	1.00
intervalle	[0.01, 0.05]	[0.05, 0.20]	[0.20, 0.60]	[0.60, 0.90]	[0.90, 1.0]
classe de dommages	léger	modéré	lourd	sévère	effondrement
cyclone tropical	négligeable revêtements et fenêtres endommagés	dégâts sur la moitié des toits	dégâts sur les toits et quelques murs	dégâts sur tous les murs	effondrement dégâts sur les murs et les sols
mouvement de terrain	légère fêlure fissure dans les murs	tassement mineur des fondations	déformation des structures murales, grandes fissures, sols inclinés ou soulevés	structures déformées, effondrement partiel des murs, dénivellation des sols, réseaux souterrains hors service	effondrement partiel ou total
feux de brousse	dommages alentours sur les jardins, les barrières ; débris	endommagement des cadres des fenêtres ; nécessité de repeindre les murs et de recouvrir les sols			plus de 80% du bâtiment brûlé, effondrement des structures
inondation	dégâts uniquement au niveau des sous-sols	débordement en surface d'au plus 30 cm		murs percés par les débris, effondrement partiel, intérieur inondé d'1 m	bâtiment démoli ou fondations renflouées

Tableau 51 : *C.D.V.* et description des dommages maximums par classe et aléa (source : [79])

L'estimation des dommages en nombre équivalent de maisons

Nous disposons désormais de tous les éléments pour amorcer le calcul des dommages. Pour les dégâts enregistrés sur un bâtiment donné à la suite d'un aléa naturel de magnitude donnée, ceux-ci sont exprimés en **nombre équivalent de maisons (E.M.)** selon la Formule 24.

$$\text{dommage du bâtiment unitaire (EM)} = \text{ratio de remplacement du bâti} \times \text{indicateur médian des dommages}$$

Formule 24 : l'expression des dommages sur un bâtiment en nombre équivalent de maisons (E.M.) (source : [79])

ce qui correspond logiquement au **coût de remplacement du bâtiment en nombre de maisons, pondéré par le degré de destruction.**

Les dommages totaux enregistrés pour la destruction partielle (*C.D.V.*) de plusieurs bâtiments différents (n_i bâtiments de type i) valent donc un nombre équivalent de maisons donné par la Formule 25.

$$\text{dommages totaux}_{(EM)} = \sum_{\text{type } i \text{ de bâtiment}} n_i \times RR_i \times CDV$$

Formule 25 : les dommages totaux en nombre équivalent de maisons (E.M.) et en fonction du C.D.V. (source : [79])

L'index des dommages

L'échelle des dommages mesurés en nombre équivalent de maisons n'est pas vraiment pertinente en ce sens que les dommages enregistrés à la suite de grandes catastrophes sont souvent estimés "à la louche" et peuvent être de l'ordre du million de E.M. L'**index des dommages** consiste à transformer l'échelle en considérant la **quantité log₂ D_(EM)**.

Le Tableau 52 recense quelques valeurs de référence de l'index des dommages par rapport au nombre équivalent de maisons touchées.

index des dommages <i>ID=log₂EM</i>	nombre équivalent de maisons <i>EM</i>	ordre de grandeur en nombre équivalent de maisons
4.3	20	20
5	32	30
10	1024	10 ³
20	1048576	10 ⁶

Tableau 52 : valeurs-types de l'index des dommages en fonction du nombre équivalent de maisons (source : [79])

Ainsi, cet index renseigne sur la gravité des dommages sur une échelle allant grosso modo de 1 à 20.

En application, le N.H.R.C. propose de sommer les index des dommages (*ID*) :

- de différents événements survenus à une même localisation afin de déterminer l'endommagement global de l'endroit sur une échelle de temps donnée,
- du même événement calculé en plusieurs endroits afin de déterminer l'endommagement global provoqué par cet événement sur une zone étendue.

Ce principe de sommation nous semble bien périlleux compte-tenu de la non-linéarité de la fonction logarithme. Par exemple, un indice global de 40 peut correspondre à 8 catastrophes "modestes" d'indice 5 pour un équivalent de 200 à 300 maisons détruites, tout comme à 2 catastrophes colossales d'indice 20 ayant provoqué chacune l'équivalent d'1 million de maisons détruites ! Il est regrettable que le N.H.R.C. n'ait pas agrémenté son exposé d'un ou deux exemples. Pour notre part, nous considérerons l'index des dommages *ID* comme un **indicateur isolé de la gravité d'un phénomène en termes de dégâts matériels**.

Cet index semble en particulier approprié pour les estimations globales lorsque les nombres de bâtiments endommagés pour chaque type ne sont pas connus et que l'on dispose uniquement d'une estimation de la population touchée. L'estimation grossière se fait au travers du nombre équivalent de maisons par personne sur le territoire, en prenant en compte tous les types de bâtiments courants. Le calcul est le suivant :

- une maison couvre en moyenne 180 m² dont 160 m² habitables pour 2,65 personnes, ce qui donne une surface équivalente de 60 m² par personne ;
- un commerce (compte-tenu des chiffres de l'Australie) représente 1,4 m² par personne pour un ratio de coût moyen estimé à 2,5 : la surface de maison équivalente pour le bâti commerce est donc de 2,5 × 1,4 = 3,5 m² par personne ;
- partant de la même surface par personne pour les bureaux, industries et bâtiments publics de ratios de coût respectifs valant 2,5, 1 et 2,5, on atteint une surface de maison équivalente pour tous les bâtiments non habitables de 2,5 × 1,4 + 2,5 × 1,4 + 1 × 1,4 + 2,5 × 1,4 ≈ 12 m² par personne.

Donc, pour un territoire homogène, une personne est associée à 72 m² de surface de maison équivalents, soit 0.4 *E.M.*

L'estimation grossière des **dommages en nombre équivalent de maisons pour un effectif de population touché** est alors immédiat (Formule 26).

$$\text{dommage}_{(EM)} = \text{population} \times 0.4 \times CDV$$

Formule 26 : première estimation des dommages en fonction de l'effectif de population touchée et du C.D.V.
(source : [79])

Remarque : étant donnée la méthode employée, il y a surestimation (resp. sous-estimation) lorsque les zones concernées par l'aléa sont plutôt résidentielles (resp. commerciales ou industrielles). On peut raisonnablement compter sur une fluctuation de 20%.

Exploitation de la méthode en Australie (au profit de l'Insurance Foundation)

Sur la base de plus de 4800 événements enregistrés en Australie sur le XX^e siècle, 1191 événements étaient suffisamment renseignés pour évaluer l'index des dommages. A partir de ces données, les diagrammes suivants ont été réalisés et ont conduits à quelques premières constatations :

- diagramme du nombre d'événements en fonction de l'index (*I.D.* allant de 0 à 12) → seuls 8% des dommages concernent des événements d'*I.D.* dépassant 7, ceux-là mêmes sont de nature très variée ;
- diagramme du nombre d'événements par année (de 1900 à 1990) → on constate une augmentation nette des catastrophes enregistrées dans le temps ;
- diagramme du pourcentage de la somme des index enregistrés par état australien (8 en tout) → il existe un gros "déséquilibre de catastrophes" entre les états australiens ;
- diagramme du pourcentage de la somme des index enregistrés par péril (9 en tout) → on constate, dans l'ordre, une prédominance des cyclones puis des inondations et des incendies.

Commentaires et critiques :

- L'augmentation dans le temps des catastrophes enregistrées est probablement due à la qualité croissante des données disponibles et à l'accroissement de la vulnérabilité des milieux. Par ailleurs, les mesures d'*I.D.* à travers les époques reste entâchées d'incertitudes car elles ne prennent pas en compte les fluctuations probables des ratios de remplacement.
- L'inégalité des états face aux catastrophes est à considérer avec beaucoup de précaution compte-tenu d'une part de la méthode de sommation des *I.D.*, d'autre part de l'absence de pondération des résultats obtenus par les valeurs des surfaces ou des populations par état. L'étude est néanmoins formelle quant à l'existence d'une différence des coûts de construction du bâti selon les états.
- Plus fondamentalement, la méthode souffre de l'absence de prise en compte des voitures, bateaux et avions dans la comptabilisation des dégâts. Par expérience, les dommages les concernant peuvent être très lourds à assumer par les assurances.

Annexe 3 : Les dommages liés aux crues en région Ile-de-France

Cette annexe résume quelques extraits d'un rapport de synthèse de 1998 sur l'évaluation de l'impact des inondations en région Ile-de-France (IdF).

Les parties rapportées ici concernent la démarche d'analyse économique des dommages (contexte, hypothèses de travail sur l'aléa et les enjeux, méthode de calcul des dommages, outils de développement) [61], avec une attention toute particulière portée sur les dommages indirects induits par les coupures du réseau routier [60].

L'évaluation des dommages

Avant-propos

Ce projet a été lancé au vu des enjeux présents en IdF et soumis aux crues de la Seine, de la Marne et de l'Oise. Il comporte **deux volets** :

- *analyse empirique de l'apparition des désordres et des dommages des différentes crues dans l'agglomération d'IdF* : 1^{ère} estimation des dommages sur des bases hydrauliques et socio-économiques simplifiées,
- *approfondissement* avec un modèle hydraulique pour représenter les niveaux d'inondation, des compléments d'économie pour l'évaluation des dommages et un outil informatique S.I.G. (ALPHEE).

Les participants sont l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, la D.I.R.E.N. IdF, la Direction de l'Eau du M.A.T.E., la région IdF, la D.R.E.I.F. (Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France), l'I.A.U.R.I.F. (Institut d'Aménagement et d'URbanisme d'Ile-de-France), le Service de Navigation de la Seine, le Port Autonome de Paris et la D.R.I.R.E. (Direction Régionale de l'Industrie, la Recherche et l'Environnement).

Le volet économique a été assuré par Territoire Conseils Associés, assisté de M. Ledoux pour l'approche assurantielle.

Introduction

Enseignements 1^{ère} phase

Cette première phase a consisté en la mise en place d'un S.I.G. par croisement des données socio-économiques (M.O.S., enjeux et fonctions d'endommagement) et topographiques (M.N.T., lignes d'eau et de crues).

Les premiers résultats ont insisté sur la nécessité d'affiner d'une part les données topographiques (berges, champs d'inondations...), d'autre part les dommages directs et indirects aux activités ainsi que les désordres aux réseaux (de transport et de distribution).

Objectifs 2^{ème} phase

Parmi ceux-ci figure le recensement des solutions d'améliorations envisageables et l'évaluation de leur impact socio-économique. La région étudiée couvre les vallées de la Seine, la Marne, l'Oise et l'Yonne en région IdF.

Le volet socio-économique regroupe l'évaluation :

- des dommages aux entités surfaciques,
- des dommages aux transports routiers,
- des désordres aux autres réseaux.

Constitution d'une hydrologie de référence

Les événements pluvieux “marquants” (janvier 1910, 1924 et 1955) peuvent être décomposés en **3 épisodes successifs** espacés de 2 à 3 jours et s'étalant sur une vingtaine de jours :

- épisode préparatoire de pluies sur 5 jours, sans ruissellement mais conduisant à saturer les sols,
- épisode pluvieux intense sur 5 à 7 jours, à l'origine de l'onde de crue principale,
- troisième vague de précipitations sur 5 à 7 jours (surtout en janvier 1910).

Les compléments d'analyse socio-économique

Contexte historique et méthodologique

Le travail économique du 2nd volet du projet n'est en fait qu'une amélioration de la précision des outils d'évaluation des dommages élaborés dans le 1^{er} volet. Ici, il s'agit également d'intégrer :

- les scénarios correspondant aux crues existantes et synthétiques,
- l'étude des conséquences des aménagements projetés,
- le fait que l'outil économique fera partie d'un outil global pour l'I.I.B.R.B.S. (Institution Interdépartementale des Barrages Réservoirs du Bassin de la Seine),
- les données assurantielles, sous forme notamment de courbes d'endommagement pour les activités.

Types de dommages étudiés

Ils sont regroupés en 3 catégories :

- les dommages associés aux entités surfaciques,
- les désordres et dommages non surfaciques associés aux transports routiers,
- les désordres et dommages non surfaciques associés aux autres réseaux.

Les dommages aux entités surfaciques sont déduits du M.O.S. par produit d'un coût unitaire par la surface exposée, ou le nombre de logements, ou encore le nombre d'habitants sur la surface.

Les dommages et désordres sont qualifiés de non-surfaciques lorsqu'ils ne peuvent être rattachés directement à l'occupation des sols du M.O.S. Ceux-ci sont alors évalués au cas par cas, c'est-à-dire pour chaque scénario et à une échelle globale. Le scénario précise notamment les paramètres de l'aléa (hauteur et durée de submersion) et décrit les désordres engendrés.

Dommages associés aux entités surfaciques

Une distinction parmi ceux-ci :

- les dommages à l'**habitat**,
- les dommages aux **activités**,
- les dommages aux **équipements** : hôpitaux, écoles, musées, infrastructures publiques + dommages à l'agriculture.

Dans l'évaluation, on distingue alors dommages directs et indirects.

Hypothèses adoptées :

- pas de prise en compte de la gestion du risque : particuliers et entreprises ne sont pas supposées anticiper l'arrivée de la crue et donc mettre en œuvre des actions préventives,
- pas de prise en compte des transferts consécutifs à l'apparition des dommages, notamment par l'utilisation de tableaux d'échanges économiques régionaux : les pertes évaluées sont “individuelles”, c'est-à-dire réduites à l'agent ou à l'entité économique élémentaire.

Évaluation des dommages à l'habitat

Dans un premier temps : collecte et analyse de données sur le terrain puis mise en relation avec le M.O.S. – via des coefficients de passage communaux établis par enquête.

Dans un second temps : utilisation des données population – logements de l'I.N.S.E.E. par îlot M.O.S. pour affiner l'évaluation des dommages.

Attention : seuls les rez-de-chaussée sont pris en compte et évalués par le rapport (nombre de logements total d'une zone d'habitat) / (nombre moyen de niveaux pour le poste M.O.S.).

Dommmages directs à l'habitat

- les enjeux sont exprimés en valeur immobilière des logements en rez-de-chaussée en fonction du poste M.O.S., notamment du pourcentage de logements avec sous-sol, du coefficient de qualité du bâti, d'une fonction de spécificité communale et du nombre moyen de niveaux (cf Tableau 53 et Tableau 54) ;
- les courbes assurantielles retenues sont celles de la D.R.E.I.F. (Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France) construites à partir d'une dizaine de correspondances entre hauteur d'eau et pourcentage d'endommagement selon qu'il y ait sous-sol ou pas (cf Tableau 55) ;
- les calculs de dommages sont immédiats : modèle hydraulique → hauteur d'eau → coefficient d'endommagement selon le type d'habitat → valeur de la fraction immobilière endommagée.

Poste habitat	Libellé	Valeur immobilière (F)
33	Habitat individuel	630.000
34	Ensemble d'habitat individuel identique	630.000
35	Habitat rural	630.000
36	Habitat continu bas	570.000
37	Habitat collectif continu haut	570.000
38	Habitat collectif discontinu	360.000

Tableau 53 : enjeux standards pour les postes habitats (source : [61])

Poste habitat	Libellé	Nombre de niveaux
33	Habitat individuel	1
34	Ensemble d'habitat individuel identique	1
35	Habitat rural	1
36	Habitat continu bas	4
37	Habitat collectif continu haut	6
38	Habitat collectif discontinu	10

Tableau 54 : nombre moyen de niveaux associés à chaque poste habitat (source : [61])

Avec sous-sol :

Hauteur / plancher (m)	-2,7	0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	3,5
Coefficient d'aménagement (%)	1,0	14,7	21,1	26,5	37,3	48,1	53,5

Sans sous-sol :

Hauteur / plancher (m)	-0,3	0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	3,5
Coefficient d'aménagement (%)	1,0	4,8	11,0	17,3	29,8	42,3	48,6

Source : DREIF

Tableau 55 : coefficients d'endommagement à l'habitat (source : [61])

Dommmages indirects à l'habitat

Ils comprennent 3 coûts :

- Le coût d'intervention. Il est estimé à 2,14F/personne/jour par la préfecture du Val d'Oise à la suite de la crue de mai-juin 1992. Il est une moyenne des prix de référence lors de la période critique, du

jour plein et du retour à la normale. La durée en jour correspond à la durée de non-utilisation de l'équipement, i.e. durée de submersion + durée de remise en état (classiquement, 1 semaine).

- Les coûts d'évacuation ou relogement. En moyenne, une personne est logée dans 60 m² et relogée dans 40 m², avec un coût de 70 F/mois/m² selon les valeurs de la F.N.A.I.M. La durée varie de la durée de submersion pour une population "touchée" à une durée majorée de 7 à 30 jours, selon que la hauteur d'eau est en-deçà ou au-delà de 1 mètre.
- Les coûts de séchage. Ils ont été estimés à 1000 F/logement, d'après une étude menée par le F.H.R.C. (Flood Hazard Research Center) à partir des données d'inondation de Uphill en 1981.

Évaluation des dommages aux activités

Démarche de phase 1 en 6 étapes

- 1- définition des enjeux : nombre de salariés, valeur des biens immobiliers, des biens mobiliers et des stocks, chiffre d'affaires des entreprises ;
- 2- collecte des données de base : paramètres économiques généraux fournis par l'I.N.S.E.E., en référence à la typologie N.A.P. (Nomenclature des Activités Professionnelles) ;
- 3- superposition des données M.O.S. et I.N.S.E.E. sur des zones témoins afin d'obtenir des valeurs de références pour les variables économiques ;
- 4- détermination des enjeux standards par application des valeurs standards évaluées sur les zones témoins à l'ensemble des items M.O.S. sans coefficient de passage ;
- 5- application des coefficients d'endommagement, calculés à partir des courbes d'endommagement réalisées après enquêtes confidentielles auprès de 60 entreprises (*nota* : le coefficient s'appliquant aux enjeux situés en rez-de-chaussée, un facteur correctif a été introduit pour tenir compte des hétérogénéités de la valeur des biens au sol et aux étages) ;
- 6- calcul des dommages indirects à partir d'un ratio dommages directs / dommages indirects, calculé sur la base des enquêtes précitées et ajusté aux résultats du F.H.R.C.

Nouvelle approche

Les aspects novateurs concernent :

1. les sources de données : la couche d'information géographique ILOTMOS90 précise par îlot I.N.S.E.E. le nombre d'employés par catégorie N.A.P. sur Paris et la Petite Couronne (cf Tableau 56) ;

Code NAP 15	Libellés	Remarques
1	Agriculture, sylviculture, pêche	
2	Industries agricoles et alimentaires	
3	Production et distribution d'énergie	
4	Industries de biens intermédiaires	
5	Industries de biens d'équipement	
6	Industries de biens de consommation	
7	Industries du bâtiment et génie civil agricole	
8	Commerces	
9	Transports et télécommunication	
10	Services marchands	
11	Location et crédit bail immobilier	
12	Assurances	
13	Organismes financiers	
14	Services non marchands	Non traité (pas de données)
15	Non renseignés	Non traité (pas de données)

Commerces	Commerces de gros alimentaires	: 14%
	Commerces de gros non alimentaires	: 39%
	Magasins d'alimentation	: 7%
	Commerces de détail non alimentaire	: 40%

Tableau 56 : catégories N.A.P. renseignées pour l'évaluation des dommages (source : [61])

- l'approche assurantielle : les compétences des experts ont fourni des grilles de dommages (directs et indirects) par (sous-)catégorie de N.A.P. en fonction de la hauteur et la durée de submersion, ainsi que la durée de remise en état (en réalité, ces paramètres sont simplement comparés aux trois valeurs-seuils respectives de 0,8m, 24h et 48h) ;
- les enquêtes sur les activités stratégiques : 140 entreprises ont été sélectionnées en zone inondable selon plusieurs critères (taille, chiffre d'affaires, risques industriels) – parmi elles, 40 ont été enquêtées, afin d'établir les courbes d'endommagement.

Les enjeux

Ils sont estimés dans le cadre de l'approche assurantielle, sur la base des ratios nationaux de l'I.N.S.E.E.

Pour chaque classe de NAP15, ils recensent :

- une valeur du matériel par salarié,
- une valeur du stock par salarié,
- un chiffre d'affaires moyen par salarié.

La catégorie "Bureaux" est ramené à l'emprise au sol, car le nombre d'étages n'est pas connu *a priori*.

Les coefficients d'endommagement

Il s'agit du taux d'endommagement pour les dommages directs (valeur de matériel et de stock) et de la perte d'exploitation pour les dommages indirects – en fonction de l'aléa, paramétré par la hauteur d'eau et la durée de submersion (cf Tableau 57).

Dommages directs :

Matériels – M = valeur du matériel, par entreprise ou par salarié					Stocks – S = valeur des stocks, par entreprise ou par salarié				
Hauteur	Durée	Intervention	Taux d'endommagement	Dommages	Hauteur	Durée	Intervention	Taux d'endommagement	Dommages
<= 80 cm	<= 24 h	<= 48 h	30 %	M x 0,3	<= 80 cm	<= 24 h	<= 48 h	100 %	S
<= 80 cm	<= 24 h	> 48 h	40 %	M x 0,4	<= 80 cm	<= 24 h	> 48 h	100 %	S
<= 80 cm	> 24 h	<= 48 h	40 %	M x 0,4	<= 80 cm	> 24 h	<= 48 h	100 %	S
<= 80 cm	> 24 h	> 48 h	50 %	M x 0,5	<= 80 cm	> 24 h	> 48 h	100 %	S
> 80 cm	<= 24 h	<= 48 h	60 %	M x 0,6	> 80 cm	<= 24 h	<= 48 h	100 %	S
> 80 cm	<= 24 h	> 48 h	80 %	M x 0,8	> 80 cm	<= 24 h	> 48 h	100 %	S
> 80 cm	> 24 h	<= 48 h	80 %	M x 0,8	> 80 cm	> 24 h	<= 48 h	100 %	S
> 80 cm	> 24 h	> 48 h	100 %	M	> 80 cm	> 24 h	> 48 h	100 %	S

M = 0,146 MF/sal S = 0,012 MF/sal

Constructions : 20 % du coût total des dommages

Dommages indirects :

Perte d'exploitation par entreprise ou par salarié			CA/salarié en MF
	Sinistre faible	Sinistre grave	
1 à 9 salariés	CA/12 x (D+1) x 0,6	CA/12 x (D+3) x 0,6	0,53
9 à 19 salariés	CA/12 x (D+1) x 0,6	CA/12 x (D+3) x 0,6	0,381
20 à 49 salariés	CA/12 x (D+1) x 0,6	CA/12 x (D+3) x 0,6	0,413
total	CA/12 x (D+1) x 0,6	CA/12 x (D+3) x 0,6	0,413

CA = chiffre d'affaires par entreprise ou par salarié de la tranche d'effectif considérée
D = durée de submersion exprimée en mois**Tableau 57 : grille d'endommagement pour la catégorie N.A.P. "Services marchands – Hôtels – Cafés – Restaurants" (source : [61])****Évaluation d'un nombre d'employés par catégorie M.O.S.**

La démarche est relativement complexe puisqu'elle couple les données I.N.S.E.E. du nombre d'employés par catégorie N.A.P. et le croisement des îlots I.N.S.E.E. / îlots M.O.S.

Dans le détail, le M.O.S. est divisé en 4 classes : habitat individuel, habitat collectif, activités industrielles et commerces. La densité moyenne d'employés par catégorie N.A.P. est alors calculée pour chacune de ces classes dans chaque département. Ainsi est modélisé le nombre total d'employés par catégorie N.A.P. et par îlot M.O.S. pour chaque département. Ces données étant rendues disponibles par l'I.N.S.E.E. pour les départements de la Petite Couronne, les résultats du modèle ont pu être appréciés et réajustés.

Évaluation des dommages aux équipements

Les coûts sont mesurés à partir de valeurs de références au m² pour chaque poste "équipements" du M.O.S. Ces valeurs de références sont issues d'enquêtes et d'expertises complémentaires en entreprises. Les réseaux constituent un cas particulier car il ne peuvent être appréhendés de manière surfacique : ils font l'objet d'une analyse spécifique séparée.

Les postes les plus **générateurs de dommages** sont :

- les établissements de santé (données I.A.U.R.I.F.),
- les musées,
- les écoles et autres établissements publics.

Résultats du calcul des dommages

Les calculs ont été réalisés sur 7 types de crues en région Ile-de-France (crues de 1983, 1993, 1970, 1955, 1910 et crues de périodes de retour 200 et 500 ans).

Les **ratios dommages indirects / dommages totaux** représentent de manière sensiblement constante :

- 10 % pour l'habitat,
- 25 % pour les activités.

Le **ratio dommages totaux aux activités / dommages totaux à l'habitat** vaut 3,2 – toutes crues confondues.

Les **équipements** sont **endommagés de manière indirecte** à 66 % pour les faibles crues – ce ratio chutant à 33 % pour les crues importantes. Le **ratio dommages directs équipements / habitats** chute pour sa part de 1,8 à 0,52.

Enquêtes sur les activités stratégiques

Les **renseignements demandés** concernent :

- la caractérisation de l'activité,
- la relation globale à l'inondation (crues passées, hauteur seuil de rupture d'activité),
- la caractérisation des dommages directs en fonction des seuils,
- la caractérisation des dommages indirects (nettoyage, remise en service, coûts annexes, part des interruptions et des reports d'activités...).

Précision du modèle d'évaluation socio-économique des dommages aux entités surfaciques

L'imprécision est relative :

- **aux aléas hydrauliques** : leur précision est normalement discutée dans le modèle hydraulique ; par exemple, pour une crue de 7 m à Austerlitz, 15 cm d'écart sur la hauteur d'eau entraînent 18 % de variation sur les dommages totaux ;
- **aux fonctions d'endommagement** : réalisées à l'échelle départementale (compte-tenu des variabilités géographiques), il faut compter sur une marge de 20 % sur les estimations faites ;
- **aux tables socio-économiques** : c'est-à-dire aux données sur le nombre de logements et d'emplois à la parcelle : des travaux complémentaires (non présentés dans le rapport) estiment les écarts moyens autour de 20 %.

Dommmages associés aux transports routiers

La méthode adoptée est celle de l'application de **scénarios de crue** : un scénario de crue est un état d'inondation maximal recensé sur la totalité de la région pour une crue et un état d'aménagement donné, avec pour conséquence la submersion d'un certain nombre d'axes routiers.

Les pertes sont mesurées au nombre d'heures perdues, par scénario.

Le modèle a été élaboré à partir du modèle global de trafic de l'I.A.U.R.I.F., calé et validé sur la région IdF. Les étapes de constitution du modèle sont :

1. croisement du réseau routier primaire avec les casiers et reports des cotes des points bas sur les axes routiers à partir de la topographie,
2. simulation d'un scénario de crue et repérage des cotes maximales d'inondation par casier,
3. identification des segments de route coupés,
4. calcul des réaffectations de trafic et de la perte de temps global occasionnée à partir du modèle I.A.U.R.I.F.

Les pertes de temps correspondent à une heure de pointe pour des véhicules. L'équivalent monétaire à la journée, puis à la période de crue et pour des personnes est obtenu par les coefficients fournis par l'I.A.U.R.I.F. et présentés dans le Tableau 58.

Passage de l'heure de pointe à la journée	10
Passage de la journée à la période de crue	1 pour un jour ouvrable 0,5 pour un jour férié
Passage du véhicule à la personne	1,25
Monétarisation	65 francs/heure/personne

Tableau 58 : équivalents monétaires des pertes de temps adoptés par l'I.A.U.R.I.F. (source : [61])

En moyenne, le nombre de jours de coupure sur l'ensemble du réseau routier est égal à la moitié du nombre total de jours de submersion.

Désordres et dommages aux autres réseaux

Il s'agit :

- de caractériser les désordres et en particulier de définir les seuils de perturbation,
- d'évaluer les dommages et de proposer une méthode de quantification économique associée.

En l'état actuel des choses, les cotes de seuils critiques sont connus pour les réseaux pris individuellement. En revanche, la caractérisation des désordres – préalable à l'évaluation des dommages – n'a pu être menée à terme, en raison de **la difficulté d'isoler les enjeux économiques, d'apprécier le fonctionnement en mode perturbé et de discerner les interdépendances intra- et inter-réseaux.**

- **Production d'eau** : réduction de 10% pour une crue type 1924 ou 1955, 30% pour une crue centennale. Cependant, la baisse d'activités s'accompagne d'une consommation moindre (de l'ordre de 25%).
- **Assainissement** : les réseaux d'assainissement sont protégés contre les crues par des stations de défense. En théorie, ils sont équipés pour résister aux P.H.E.C. – plus particulièrement en Petite Couronne.
- **Transport & distribution d'électricité** : on estime qu'en-deçà d'une période de retour de 50 ans, les perturbations de l'exploitation sont mineures. En revanche, les scénarios mettant en jeu des périodes de retour supérieures doivent être étudiés spécifiquement. Les paralysies peuvent être conséquentes, étant donnée la mise hors-service d'un grand nombre de transformateurs par un phénomène en cascade.
- **Gaz** : le réseau actuel est peu vulnérable à des crues inférieures à celles de 1955. Pour des eaux dépassant de 1m30 les installations, la mise hors-service doit être effectuée.
- **Télécommunications** : les centraux téléphoniques constituent les enjeux majeurs dans le cadre d'une hiérarchisation des désordres et dommages. Par ailleurs, le réseau de télécom est dépendant du bon fonctionnement du réseau d'électricité...
- **Transports** : S.N.C.F. comme R.A.T.P., d'autant plus qu'il existe de nombreuses interconnexions. Les délais de remise en marche de ces réseaux seraient longs, compte-tenu non seulement de la réparation des matériels, mais également des périodes d'essai avant la reprise de l'exploitation.
- **Autres réseaux** : approvisionnements en charbon pour le chauffage urbain, traitement des déchets, transport des hydrocarbures, services de navigation fluviale, etc.

→ les désordres apparaissent en général **à partir de seuils voisins des niveaux historiques** (crue de 1955 – 7m20 à Austerlitz). Une crue équivalente à celle de 1910 toucherait l'ensemble des réseaux et paralyserait la vie économique pour une durée indéterminée. Entre les deux (7m20 à 8m60 à Austerlitz), les perturbations iraient en s'aggravant compte-tenu de l'interdépendance des réseaux : l'évaluation des seuils critiques et des désordres engendrés n'en devient que plus complexe...

Analyse de vulnérabilité en situation actuelle et évaluation des scénarii d'aménagement

Étude de 10 scénarios de référence par comparaison systématique au scénario 2 correspondant à la situation 1997 avec les réservoirs actuels (Marne – Seine – Aube – Pannecière).

Les deux critères de comparaison sont :

- la diminution des dommages totaux aux entités surfaciques pour la crue de type 1910 ;
- la diminution des mêmes dommages moyennés sur une très longue période avec pondération par la période de retour : c'est le gain moyen annuel.

L'analyse des scénarios conduit à faire les deux remarques d'ordre général suivantes :

- dans l'état actuel des choses, le dommage moyen annuel est de l'ordre du milliard de francs : c'est la somme qu'il conviendrait d'injecter annuellement dans les actions de prévention ;
- dans le meilleur des cas, les gains globaux permettraient de diminuer de 30% les dommages moyens annuels.

Description du logiciel ALPHEE : outil d'évaluation socio-économique

Objectif : estimer économiquement l'impact des ouvrages existants ou futurs de protection contre les inondations en région Ile-de-France : les différentes solutions sont envisagées en termes de scénarios.

La simulation est effectuée en **4 étapes** :

1. définition du scénario,
2. calculs hydrauliques,
3. calculs socio-économiques,
4. analyse des résultats.

Dans cette méthode, l'**unité de représentation** n'est plus la parcelle M.O.S. de 25m de côté (solution adoptée en phase 1) mais le **casier hydraulique** d'une surface de 15ha en moyenne. Dans ce cadre, les taches d'inondations deviennent agrégées, les contours d'inondation perdent du détail mais la pertinence des résultats est accrue compte-tenu des imprécisions topographiques locales et des intégrations spatiales importantes lors des évaluations économiques.

L'outil s'articule autour de **5 modules** :

- paramétrage de données : données hydrologiques (hydrogrammes), paramètres hydrauliques (lit mineur, murettes, casiers, ouvrages) et paramètres socio-économiques (pour le calcul des dommages) ;
- pilotage d'un scénario : choisi à partir d'une hydrologie, d'un paramétrage hydraulique et d'un paramétrage socio-économique – notamment fonction des coefficients d'accroissements des densités départementales de population, logements et employés ;
- simulation hydraulique ;
- simulation socio-économique : évaluation des dommages casier par casier, à partir des résultats de la simulation hydraulique ;
- visualisation et analyse spatiale des résultats de simulation : notamment visualisation des aléas hydrauliques dans chaque casier et des dommages regroupés par vallée ou par département.

Utilisation de l'outil pour des études règlementaires de type P.P.R. :

- sélection de la ligne d'eau de référence le long du lit mineur (P.H.E.C.) : compte-tenu des effets de seuil dans le lit majeur, il est illusoire de vouloir calculer une nouvelle ligne d'eau dans l'hypothèse de nouveaux aménagements – une erreur de 20cm pouvant introduire de lourdes erreurs sur la délimitation des zones inondables en retrait, les résultats de l'étude ne peuvent constituer qu'une aide pour ajuster les niveaux historiques observés ;
- délimitation de l'emprise de la zone inondable : par croisement du modèle hydraulique (cotes d'eau dans chaque casier) et des cotes topographiques du terrain naturel ;
- études des aléas et de la vulnérabilité attachée à chaque parcelle : les prescriptions dépendent des indices de vulnérabilité (dépendant par ailleurs des P.H.E.C. mais également d'autres crues), des aménagements envisageables pour réduire le risque... : en ce sens, le modèle hydraulique peut fournir de bonnes indications sur les niveaux d'aléa, afin d'être ensuite couplés aux indicateurs socio-économiques du M.O.S. voire du P.O.S.

Organisation de données socio-économiques et mécanique de calcul des dommages

Tables de données

La table centrale de la base de données

Elle recense les données au niveau des entités parcelles M.O.S. obtenues par croisement des couches casiers et ILOTMOS90. Elles sont définies par :

- le code MOS pour la légende à 110 postes,
- le code MOS-ACTIVITÉS correspondant,
- l'identifiant du casier contenant la parcelle,
- la surface de la parcelle,
- le nombre total de personnes occupant la parcelle,
- le nombre total de logements,
- le nombre de salariés,
- le nombre moyen d'étages des bâtiments.

Aléa

La table est constituée par ALPHEE après chaque simulation du moteur hydraulique. Les entités sont les casiers définis par :

- l'identifiant du casier,
- la cote maximum atteinte par l'eau,
- la hauteur moyenne atteinte dans le casier,
- le pourcentage de surface inondée,
- la durée totale de submersion.

Enjeux habitats + équipements

Chaque classe M.O.S. est flanquée d'une valeur référence de l'enjeu associé, en francs par m².

Fonction endommagement à l'habitat et aux équipements

Pour chaque classe M.O.S., le coefficient d'endommagement est associé à une hauteur d'eau. Pour chaque rubrique, on renseigne ainsi sur :

- la hauteur d'eau,
- le coefficient d'endommagement pour l'habitat sans sous-sol,
- le coefficient d'endommagement pour l'habitat avec sous-sol,
- le coefficient d'endommagement pour les équipements en dur,
- le coefficient d'endommagement pour les campings.

Spécificités communales

La table fournit pour chaque commune et chaque classe M.O.S. se rapportant à l'habitat :

- un coefficient de qualité du bâti,
- le pourcentage de logements sans sous-sols,
- le pourcentage de logements avec sous-sol,
- la hauteur de 1^{er} plancher habitable pour un logement sans sous-sol,
- la hauteur de 1^{er} plancher habitable pour un logement avec sous-sol.

Enjeux activités

= enjeux standards pour chaque rubrique de la classe NAP19, base de départ pour le calcul des dommages directs et indirects aux activités. Elle répertorie :

- la classe N.A.P.,
- les enjeux matériels en francs/salarié,
- les enjeux aux stocks en francs/salarié,
- les enjeux en termes de chiffre d'affaires.

Densité salariés

Table de densité moyenne de salariés à l'hectare pour chaque classe MOS-ACTIVITÉS et chaque type NAP19, avec comme renseignements :

- le code MOS-ACTIVITÉS (parmi 4 codes),
- le code NAP19,
- le département,
- la densité moyenne de salariés.

Endommagements activités :

La table donne pour chaque activité N.A.P. et pour chaque classe de sinistre un taux d'endommagement au matériel et un taux d'endommagement aux stocks. Les classes de sinistres sont définies conformément au Tableau 59.

Hauteurs maximums d'inondation	Durée d'inondation	Classe
$h \leq 30$ cm	quelconque	C0
$30 \text{ cm} < h < 80$ cm	< 24 heures	C1.1
$30 \text{ cm} < h < 80$ cm	> 24 heures	C1.2
$h > 80$ cm	< 24 heures	C2.1
$h > 80$ cm	> 24 heures	C2.2

Tableau 59 : classes de sinistres en fonction de la hauteur d'eau et de la durée de submersion (source : [61])

L'approche assurantielle distingue par ailleurs deux types de sinistres (faible *vs* grave) selon que la durée d'intervention est inférieure ou supérieure à 48 heures. Cette distinction est difficile à effectuer pour des crues de durée longue.

Spécificités départementales

Application de coefficients de pondération des densités moyennes de salariés par département, conformément au Tableau 60.

Département	75	77	78	91	92	93	94	95
Pondération	0,25	0,26	0,26	0,26	0,71	0,26	0,62	0,26

Tableau 60 : coefficients de pondération représentatifs de la densité salariale des départements d'Ile-de-France (source : [61])

Mécanique de calcul des dommages

- **dommages directs à l'habitat** : distinction avec/sans sous-sol dans la description des parcelles M.O.S.,
- **dommages indirects à l'habitat** : trois coûts unitaires correspondant à l'intervention (en francs/habitant/jour), le relogement (en francs/logement/mois) et le séchage (en francs/logement),
- **dommages aux activités** : calculs fondés sur l'hypothèse : durée d'intervention < 48 heures – attention ! les densités de salariés appliquées au casier sont celles qui ont été établies à l'échelle départementale,
- **dommages directs aux équipements et à l'agriculture**,
- **dommages indirects aux équipements et à l'agriculture** : le calcul est très spécifique et nécessite d'être explicité pour chaque la classe M.O.S.

Les dommages associés aux transports routiers

Cette partie concerne exclusivement le calcul des dommages induits par les coupures du réseau routier [60].

Contexte et objectifs de l'étude

1^{ère} phase de l'étude

“Analyse empirique des désordres et dommages résultant des différentes crues de la Seine et de la Marne dans l'agglomération continue d'Ile-de-France, 1994”

Les **grands principes d'évaluation** :

- les désordres (correspondant aux coupures d'axes routiers) sont mis en relation avec la hauteur et la durée de la crue à travers un scénario global,
- les points de coupure sont identifiés et hiérarchisés en fonction du volume du trafic et de la densité du réseau,
- un taux de congestion supplémentaire est évalué compte-tenu des itinéraires de déviation,
- l'étude aboutit au calcul des temps supplémentaires de parcours et leur coût associé.

2^{ème} phase de l'étude

On dispose désormais d'une précision accrue quant à la localisation des points de coupure – grâce à une modélisation hydraulique dynamique fine de l'inondation.

On souhaite maintenant :

- faire une étude globale sur tout la région IdF,
- simuler des crues synthétiques et évaluer l'impact sur le routier selon divers projets d'aménagement.

L'utilisation de modèles de trafic devrait permettre un calcul automatique du nombre d'heures perdues par simulation. Par ailleurs, l'implémentation est directe, puisque le modèle existe déjà en situation non perturbée.

Méthodologie

Cadre méthodologique : chronologie

- 1- **sélection du réseau à étudier** : cette étape nécessite notamment d'effectuer le couplage tronçons – casiers,
- 2- **définition des scénarios à tester** : un scénario est une simulation de trafics routiers dans la région IdF dans le cas d'une crue occasionnant des interruptions de circulation sur le réseau ; le modèle fonctionne de manière globale, donc le scénario est unique pour une crue donnée,
- 3- **identification et report des points de perturbation pour un scénario donné** : grâce à la modélisation hydraulique, on peut repérer l'ensemble des points du routier situés en-deçà de la ligne d'eau de la crue – notamment les points “critiques”, tels que les points d'accès,
- 4- **modélisation de trafic** : elle est ici sous-traitée à l'I.A.U.R.I.F., d'après des données de 1990 et des étapes de validation du modèle,
- 5- **analyse des dommages et intégration à l'outil** : le travail débouche sur la mise au point d'une courbe moyenne d'endommagement applicable à l'ensemble des scénarios testés.

Le modèle de trafic de l'I.A.U.R.I.F.

Outil

Pour chaque scénario, application de la matrice de déplacements en heure de pointe sur le réseau routier disponible.

Hypothèses

- déplacements : on suppose qu'il n'y a pas de modification du nombre de déplacements totaux effectués – cette hypothèse n'est pas vraiment réaliste (les usagers de la route adaptent leur comportement en fonction de l'état et l'encombrement du réseau), mais elle correspond à l'état le plus perturbé et permet de faire des comparaisons à hypothèses identiques,
- période : étude à l'heure de pointe du soir, car c'est à ce moment que la structure des motifs de déplacements est la plus contrastée,

- congestion : en situation perturbée, les usagers ne connaissent pas les longs itinéraires de secours – du moins dans les premiers jours ; le modèle réaffecte le trafic en recherchant un équilibre à partir de peu d'itérations.

Application et résultats

Scénarios testés

- 1- crue 1955 avec barrages influents
- 2- crue 1955 avec barrages non influents
- 3- crue 1910 avec barrages influents
- 4- crue 1910 avec barrages non influents

Le réseau routier considéré est celui de début 1995, comprenant autoroutes, voies rapides, routes nationales, routes départementales et routes communales importantes.

La matrice origine-destination en 522 zones sur la région IdF comporte 1.046.000 déplacements en véhicules particuliers à l'heure de pointe.

Identification des points de coupure potentielle

A partir :

- de la base de données du routier de l'I.A.U.R.I.F. en mode vecteur,
- de plans topographiques au 1/5000^{ème}, 1/2000^{ème} et 1/25000^{ème} pour repérer les cotes des voies.

La cartographie des casiers et du routier en surcouche est réalisée sur le plan au 1/25000^{ème}. Les cotes sont identifiées aux échelles supérieures et reportées sur le fond de carte au 1/25000^{ème}.

Chaque **point de coupure** est ainsi localisé, avec en attributs :

- l'identifiant du tronçon de la voie,
- la cote du point bas,
- l'identifiant du casier auquel il appartient.

Pour chaque scénario, le modèle hydraulique fournit la cote maximum et la durée totale de submersion. On suppose qu'il y a inondation à partir de 10cm d'eau.

Analyse des arcs coupés

Pour chaque scénario et pour chaque commune, on hiérarchise la liste des tronçons coupés en fonction du volume de trafic.

L'agrégation des résultats conduit à établir un tableau recensant la longueur totale des arcs coupés, par type de voie et par département, pour chaque scénario.

Simulations de trafic en situation perturbée

Les poids lourds sont convertis en unités de véhicules légers.

Les déplacements considérés ne tiennent pas compte des déplacements intra-zones, qui par ailleurs empruntent en majeure partie les départementales et communales.

Résultats

La différence du nombre d'heures total passé par les usagers sur le réseau, entre la situation perturbée et la situation de référence fournit dans un premier temps le **bilan du temps perdu par les usagers**. Les pertes calculées correspondent à une heure de pointe et pour des véhicules. La **monétarisation** de cette variable passe par l'application de coefficients multiplicateurs, indiqués dans le Tableau 61.

Passage de l'heure de pointe à la journée	10
Passage de la journée à la période de crue	1 pour un jour ouvrable 0,5 pour un jour férié
Passage du véhicule à la personne	1,25
Monétarisation	65 francs/heure/personne

Tableau 61 : coefficients de calcul du dommage journalier – valeurs utilisées habituellement par l'I.A.U.R.I.F. (source : [60])

Exemple : 236.000 heures estimées en cas de crue de type 1910 avec barrages sur la base d'une durée moyenne de 4 jours (dont 1 férié) correspond à $236.000 \times 10 \times 3,5 \times 1,25 \times 65 \approx 671$ millions de francs.

Le **nombre moyen de jours de coupure sur l'ensemble du réseau routier** est pris comme égal à la moitié du nombre total de jours de submersion. Ceci permet enfin d'estimer les **dommages dus aux heures perdues sur routes** pour chacune des 4 crues retenues (cf Tableau 62).

Scénario simulé	Heures perdues	Durée moyenne de submersion		Dommage moyen en millions de francs
		Nbre jours ouvrés	Nbre jours fériés	
Crue 1955 avec barrages	43.000	3	1	61,141
Crue 1955 sans barrages	133.000	5	1	297,172
Crue 1910 avec barrages	236.000	6	2	671,125
Crue 1910 sans barrages	569.000	10	2	2.542,719

Tableau 62 : dommages moyens pour 4 scénarios testés (source : [60])

Annexe 4 : Cartographie informative et cartographie réglementaire pour la prévention des risques d'inondations en Midi-Pyrénées

Cette annexe présente le projet d'élaboration de cartographie informative pour la prévention du risque d'inondations par la D.I.R.E.N. Midi-Pyrénées dans le cadre du XI^{ème} contrat de plan État-Région. Les travaux concernent 7000 km de cours d'eau et sont fondés sur une approche hydrogéomorphologiques pour la détermination des zones inondables. Cette étude se prolonge par la mise en œuvre d'une cartographie réglementaire à partir des enseignements et résultats issus de la cartographie informative [32].

Méthodologie pour une cartographie informative des zones inondables en Midi-Pyrénées – d'après le professeur Lambert

Introduction

La cartographie informative des zones inondables en Midi-Pyrénées doit :

- fournir une information préventive,
- faire la synthèse des documents existants,
- identifier les risques de débordements locaux et les aménagements récents,
- faire l'objet d'une large diffusion et d'un enregistrement informatique (S.I.G.).

La méthode doit être exhaustive (former un atlas de l'ensemble des 7000 km de cours d'eau), facile à mettre en œuvre, adaptable et évolutive.

L'appréciation du risque d'inondation est une question d'historien

L'étude des crues inondantes passées exploite les archives recensant les traits de crue sur le terrain, les hauteurs de crues répertoriées dans les services compétents ainsi que les photographies, les enquêtes terrain ou autres documents informatifs. Cette étude doit être exhaustive car les inondations sont susceptibles de survenir plusieurs fois aux mêmes endroits.

Les traits de crue et les hauteurs de crues recensées aux stations hydrométriques n'existent pas toujours et ne suffisent pas de toute façon pour amorcer l'étude probabiliste.

On recense alors toutes les crues notables de la période hydrométriquement connue en continu. Les informations portent sur les hauteurs, informations plus concrètes et plus "brutes" que les débits. Ces hauteurs, fournies par le S.A.C. (Service d'Annonce des Crues) sont fiables pour des périodes allant jusqu'à 100 voire 150 ans. L'ensemble exhaustif des données est alors synthétisé dans un tableau représentant la série chronologique des crues supérieures à un seuil donné.

Cette série est ensuite reportée sur un graphique semi-logarithmique mettant en relation la fréquence ou la période de retour et la hauteur mesurée. On y injecte les données sur les crues historiques lorsque l'on en dispose. L'étude fréquentielle permet ainsi d'associer hauteurs de crue et périodes de retour remarquables (décennale, centennale, etc.) et d'y repérer les P.H.E.C.

L'appréciation du risque d'inondation est une question de géographe

Le passage de l'étude historique ponctuelle (la station) à l'étude spatiale (la plaine inondable) passe par l'analyse stéréoscopique des photographies aériennes contenant l'information géomorphologique et géographique.

L'analyse des photographies aériennes

Elle fournit 5 informations :

- **l'extension de la zone inondable en grande crue historique** : par analyse stéréoscopique, il est possible de reconstituer les limites externes du fond alluvial inondable – et inondé historiquement – qui correspond en fait aux limites de l'encaissant ;
- **la connaissance du modelé fluvial** : l'analyse stéréoscopique du modelé organisé par la dernière grande crue permet de délimiter et d'étudier la forme (rétrécissements/élargissements) des zones inondées quasi-annuellement, des zones fréquemment inondées (période de retour comprise entre 5 et 15 ans) et des autres zones d'inondations – zones d'inondations exceptionnelles couvrant le reste de l'espace jusqu'à l'encaissant ;
- **la localisation des aménagements hydrauliques** : bien plus lisibles sur une photographie aérienne que sur une carte au 1/25000^{ème}, ces aménagements sont nombreux et complexes, leur rôle organisateur ou perturbateur pour les crues est indispensable pour étudier la dynamique de celles-ci ;
- **les rapports entre zones inondables et utilisation de l'espace** : en particulier, quel usage la société fait-elle des zones inondables : ripisylve, prairies, cultures plus ou moins délicates, aménagements industriels et urbains ?
- **les zones inondables des cours d'eau ignorés des archives et des services hydrométriques** : il s'agit fréquemment de bassins versants peu étendus situés à l'amont des rivières principales sur des profils plus pentus, les crues y sont plus rapides et plus brèves.

L'observation du terrain

L'analyse stéréoscopique doit être épaulée par des observations terrain antérieures, afin de bien poser initialement les problèmes, et postérieures, pour lever les ambiguïtés et procéder à des vérifications.

⇒ En résumé, l'analyse stéréoscopique de la géomorphologie du lit alluvial permet de :

- cerner la zone d'inondation banale, quasi-annuelle,
- cerner la zone d'inondation de fréquence d'ordre décennal,
- cerner l'extension des crues exceptionnelles s'étalant jusqu'au pied de l'encaissant,
- localiser les principaux chenaux de crue,
- connaître l'emplacement des aménagements hydrauliques, agricoles et routiers,
- localiser les "points noirs" potentiels (confluences, rétrécissements, ouvrages, etc.),
- enfin, comprendre l'organisation de l'espace inondable par la société.

Ainsi fait, cette analyse permet d'amorcer la cartographie informative des zones inondables.

La cartographie informative

L'échelle : le 1/25000^{ème}, permettant de transcrire repères topographiques et signes cartographiques.

Le fond de carte : le fond de carte I.G.N., qui apparaît comme exhaustif (repères altimétriques, routiers, hydrographiques, urbains, végétaux, etc.).

La légende :

Les zones inondables sont repérées par un code à 3 couleurs :

- zones inondées très fréquemment : mauve,
- zones inondées fréquemment : bleu foncé,

- zones d'inondation exceptionnelle : bleu clair.

Par ailleurs, on représente les limites de l'encaissant par un trait marron, les chenaux de crue sont matérialisés par des flèches noires, les flux d'inondations locales sont symbolisés par des flèches jaunes, et enfin, digues et remblais (routiers et ferroviaires) sont transcrits par des traits de couleur jaune.

On recense les points particuliers de la zone inondable, c'est-à-dire pourvus d'informations significatives, par des points noirs. Ceux-ci renseignent dans une pastille la date de la crue concernée et l'altitude N.G.F. ou l'épaisseur de la lame d'eau de cette crue. La pastille est cernée de rouge si la crue correspond aux P.H.E.C.

A chaque carte est enfin annexée un cartouche d'informations générales (références des stations hydrométriques, de la mission aérienne, des documents sources, etc.).

De la cartographie informative à la cartographie réglementaire – une démarche technique en Midi-Pyrénées

Introduction

La cartographie informative ainsi élaborée par la D.I.R.E.N. Midi-Pyrénées est destinée à être diffusée auprès des services déconcentrés de l'État (dont la D.D.E., la D.D.A.F. et les services R.T.M.). L'objectif est de valoriser la méthode hydrogéomorphologique pour initier la production d'une cartographie réglementaire.

Les critères exigés pour la réalisation d'une étude du risque d'inondation doivent prendre en compte la "nature et l'intensité du risque encouru" (loi du 2 février 1995). Ils sont les suivants :

- définition du type d'inondation (de plaine ou torrentielle),
- définition des différentes fréquences d'inondation (fréquente/très fréquente/exceptionnelle),
- délimitation des zones inondables selon leur fréquence,
- détermination des aléas (hauteurs de submersion et vitesse d'écoulement le cas échéant).

Élaboration des cartes de hauteur et de vitesses

La cartographie informative appréhende l'étude du risque sous l'angle de la fréquence. L'analyse du risque d'inondation nécessite donc d'être approfondie en ce qui concerne l'évaluation des paramètres physiques de l'aléa (hauteur, vitesse).

Passage du 1/25000^{ème} au 1/10000^{ème} – élaboration de la carte hydrogéomorphologique

Le passage de la cartographie informative à la cartographie réglementaire nécessite par ailleurs un changement d'échelle. Le choix retenu dans la présente démarche est de conserver le fond I.G.N. au 1/25000^{ème} – dont le contenu géographique, cartographique et topographique est jugé le meilleur, et de l'agrandir au 1/10000^{ème} voire au 1/5000^{ème} pour la cartographie des aléas. Le fond cadastral est mis de côté, car la seule information topographique qui y figure concerne le bâti. Cela n'empêche pas de réaliser des reports ultérieurs depuis le fond I.G.N. agrandi vers le fond cadastral.

Afin de prévenir les risques de "déformation-désinformation" associés à l'agrandissement de la carte au 1/25000^{ème}, trois missions complémentaires ont été suggérées :

- des missions de photographies aériennes à une échelle voisine du 1/10000^{ème},
- une investigation de terrain plus poussée pour mieux cerner la dynamique des grandes crues,
- des relevés topographiques permettant de caler la ligne d'eau de la crue de référence.

La carte hydrogéomorphologique

La carte hydrogéomorphologique présente l'aléa inondation dans sa dynamique propre, selon sa fréquence, se développant dans une plaine inondable où sont localisés les facteurs organisateurs-perturbateurs de cette dynamique. Cette carte, réalisée classiquement à l'échelle 1/10000^{ème}, est une information primordiale se situant à l'amont des cartes hauteur et vitesse. Elle a pour but de présenter et d'expliquer les phénomènes d'inondation aux aménageurs et aux élus qui vont appliquer les P.P.R. sur leur territoire.

La réalisation de ce document nécessite d'**approfondir certains champs déjà abordés dans la cartographie informative**. Elle implique entre autre une collecte exhaustive des données hydrologiques (laisses de crues, points noirs, mesures aux stations, etc.) ainsi que des missions complémentaires aériennes et de terrain pour affiner la délimitation des zones inondables et des encaissants.

Elle nécessite par ailleurs le **recensement de nouvelles informations**, relatives à l'état du lit et des berges, au modelé de la plaine (chenaux de crue, obstacles, ouvrages majeurs, etc.) et aux ouvrages hydrauliques.

En définitive, l'établissement de la cartographie hydrogéomorphologique s'appuie sur la travail de cartographie informative, mais également sur l'analyse de photos aériennes au 1/10000^{ème}, les missions de terrain sur la géomorphologie et les enquêtes auprès des riverains pour recenser traits et laisses de crues. Ces travaux complémentaires soulignent combien la réalisation de la carte hydrogéomorphologique constitue avant tout un travail de terrain, pour la compréhension de la dynamique des crues.

La carte hydrogéomorphologique réalise une **synthèse des informations hydrologique et géographique afin d'appréhender le risque d'inondation comme un phénomène structurel de la plaine alluviale**, prenant en compte son développement dans le temps (fréquence) et dans l'espace (extension) ainsi que ses interactions avec l'environnement (modelé et aménagements).

La cartographie hydrogéomorphologique s'accompagne d'un rapport d'étude complet sur la crue inondante retenue comme crue de référence. Parce que définie par les textes comme la crue centennale lorsque celle-ci dépasse les P.H.E.C., la crue de référence est soumise à bon nombre de calculs, de statistiques et d'extrapolations de valeurs. **De fait, la crue de référence peut être définie de façon moins précise, mais certainement plus réaliste, comme la "plus haute crue connue pour laquelle on dispose d'un maximum d'informations, permettant le tracé du zonage d'aléa".**

La cartographie des aléas

Élaboration de la carte des hauteurs d'eau pour la crue de référence

Cette étape de la réalisation de la cartographie des aléas exige :

- **un levé topographique du secteur étudié** : l'importance de son coût incite beaucoup les bureaux d'étude à se rabattre sur les informations topographiques présentes sur la carte hydrogéomorphologique lorsque celles-ci sont suffisantes, ou, le cas échéant, à réaliser un levé "allégé" sur un semis de points établi à partir du modelé de la plaine inondable et non d'un maillage rigide ;
- **un relevé des laisses de crues** : il est établi à partir des enquêtes de terrain et des archives hydrologiques et hydrométriques (la cartographie qui en résulte accompagne la réalisation de la carte hydrogéomorphologique comme nous l'avons vu plus haut) ;
- **l'établissement d'un ou de plusieurs profils en eau de la ligne d'eau de référence** : l'information de cette ligne est intéressante non seulement sur le profil en long du lit ordinaire, mais également – lorsque cela est possible – à l'échelle de la plaine inondable.

A partir de ces informations, la carte des hauteurs est réalisée en 2 étapes :

- **tracé des isocotes** de la crue de référence sur le levé topographique, à partir des informations sur les traits et la dynamique de la crue,
- **tracé des isopaques** de la crue de référence (lignes d'égal épaisseur), sur le même fond.

La détermination des isopaques peut être obtenue sommairement à partir de levés topographiques complémentaires sur les zones d'inondation relevées sur la carte hydrogéomorphologique pour lesquelles la hauteur d'eau présumée nécessite des investigations plus poussées (classiquement, hauteurs d'eau comprises entre 0m50 et 1m50). Bien entendu, si le temps et les fonds le permettent, un levé topographique exhaustif de la zone d'étude conformément aux informations de la carte hydrogéomorphologique aboutit à une classification exhaustive des zones inondées : les hauteurs d'eau sont classées, par exemple, en 4 classes : [0m à 0m50], [0m50 à 1m], [1m à 2m] et plus de 2m.

Réalisation de la carte des champs de vitesse pour la crue de référence

La notion même de vitesse est ambiguë : s'agit-il de vitesse moyenne ou de vitesse instantanée ? de vitesse au fond du lit ou de vitesse de surface ?

A défaut d'un consensus sur la définition exacte de la vitesse de la crue, un compromis consisterait à établir une carte des vitesses avec une précision toute relative, en l'occurrence au 1/10000^{ème}.

Les vitesses des filets d'inondation sont fonction du rayon hydraulique, de la pente de la vallée et de la rugosité du contenant. Si les deux premiers paramètres sont bien quantifiables, la rugosité reste difficile à estimer, d'autant que les surfaces sont souvent accidentées (les erreurs relatives sur l'estimation des vitesses peuvent atteindre 50% !).

La réalisation de la carte des vitesses nécessite :

- **un recensement des données géomorphologiques** : repérages des phénomènes d'érosion, des phénomènes de sédimentation et des chenaux d'écoulement préférentiels,
- **une analyse granulométrique des sédiments couplée aux informations relatives au modelé de la plaine alluviale** : malgré le manque de résultats exacts – ou tout du moins universels – concernant la relation entre nature & diamètres des sédiments et vitesses-seuils, certains critères qualitatifs permettent de faire le lien entre la forme du modelé et la nature des sédiments d'une part, et l'ordre de grandeur des vitesses de crue d'autre part.

Au final, la carte des vitesses distingue 3, voire 4 secteurs différents :

- les secteurs d'eaux mortes ou calmes : vitesses comprises entre 0 et 0,2m/s,
- les secteurs de vitesses faibles, inférieures à 0,5m/s,
- les secteurs de vitesses moyennes, comprises entre 0,5 et 1m/s,
- éventuellement les secteurs de vitesses fortes, supérieures à 1m/s, toujours au voisinage du lit ordinaire et au droit des grands chenaux de crue.

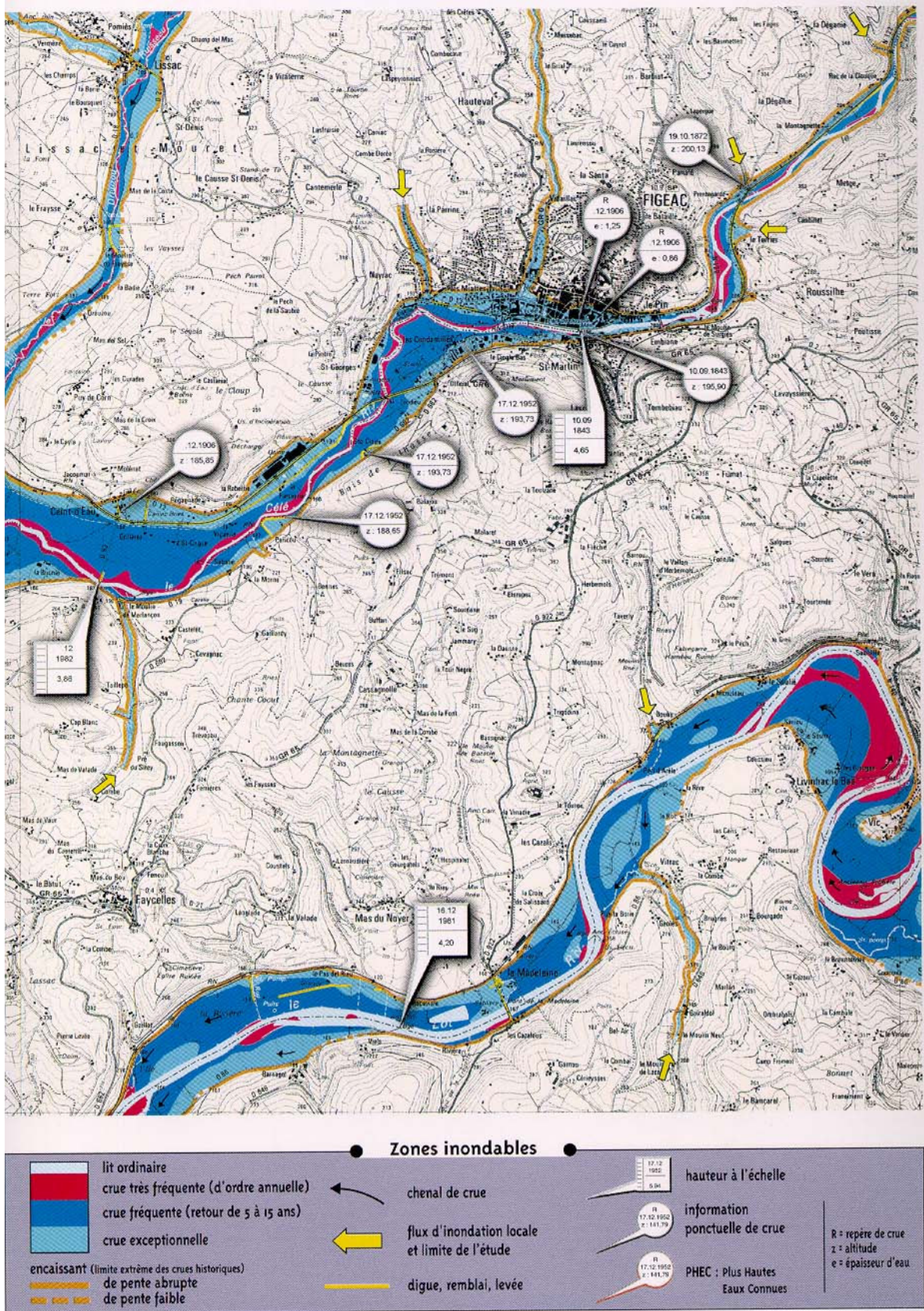
Notons l'importance du rôle joué par la carte hydrogéomorphologique dans la réalisation de la carte des vitesses : seul ce document permet de rendre compte de l'emplacement des chenaux de crue, de l'impact des aménagements sur l'écoulement et de la dynamique des crues dans sa plaine alluviale.

Conclusion

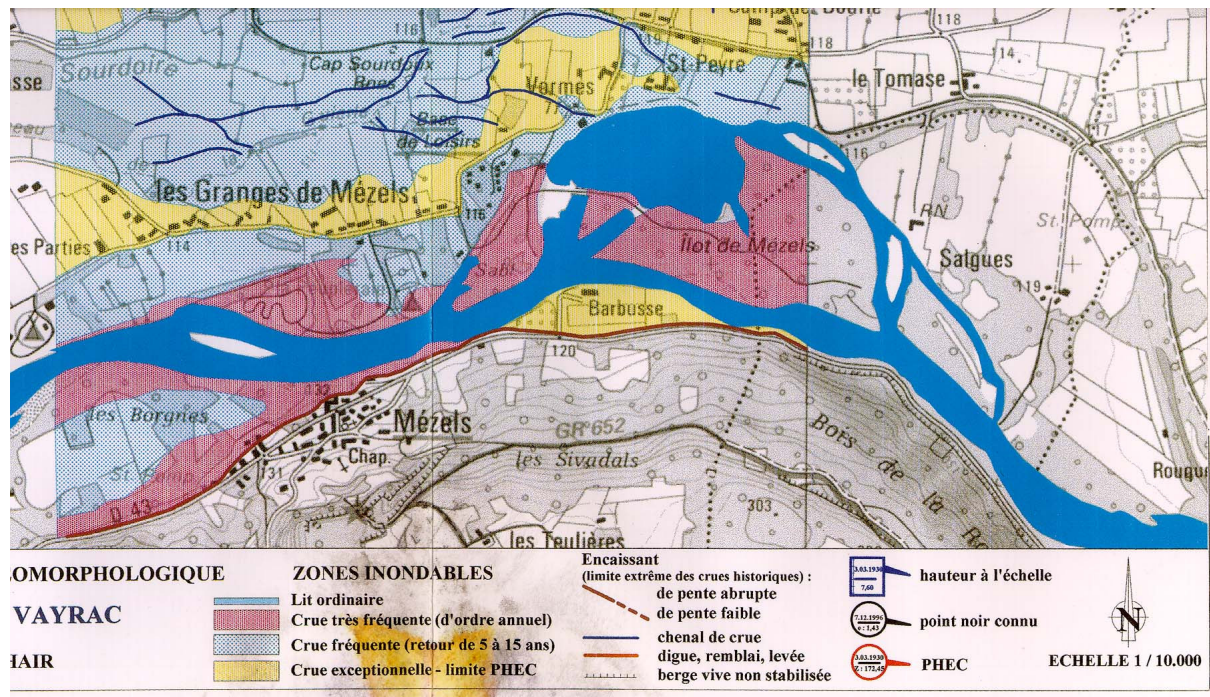
Comme son nom l'indique, la cartographie hydrogéomorphologique réalise une synthèse des informations hydrologiques et géomorphologiques, afin de faire un "état des lieux" de la dynamique des inondations dans le secteur étudié et d'amorcer l'étude des aléas. Celle-ci est essentiellement déterminée à partir de la carte des hauteurs d'eau et de la carte des champs de vitesses. L'ensemble de ces documents, complémentaires de par leur réalisation et leur usage, peut néanmoins être complété par des études hydrauliques, notamment pour les secteurs ayant subi une modification urbaine forte depuis la crue de référence.

Cartes annexées

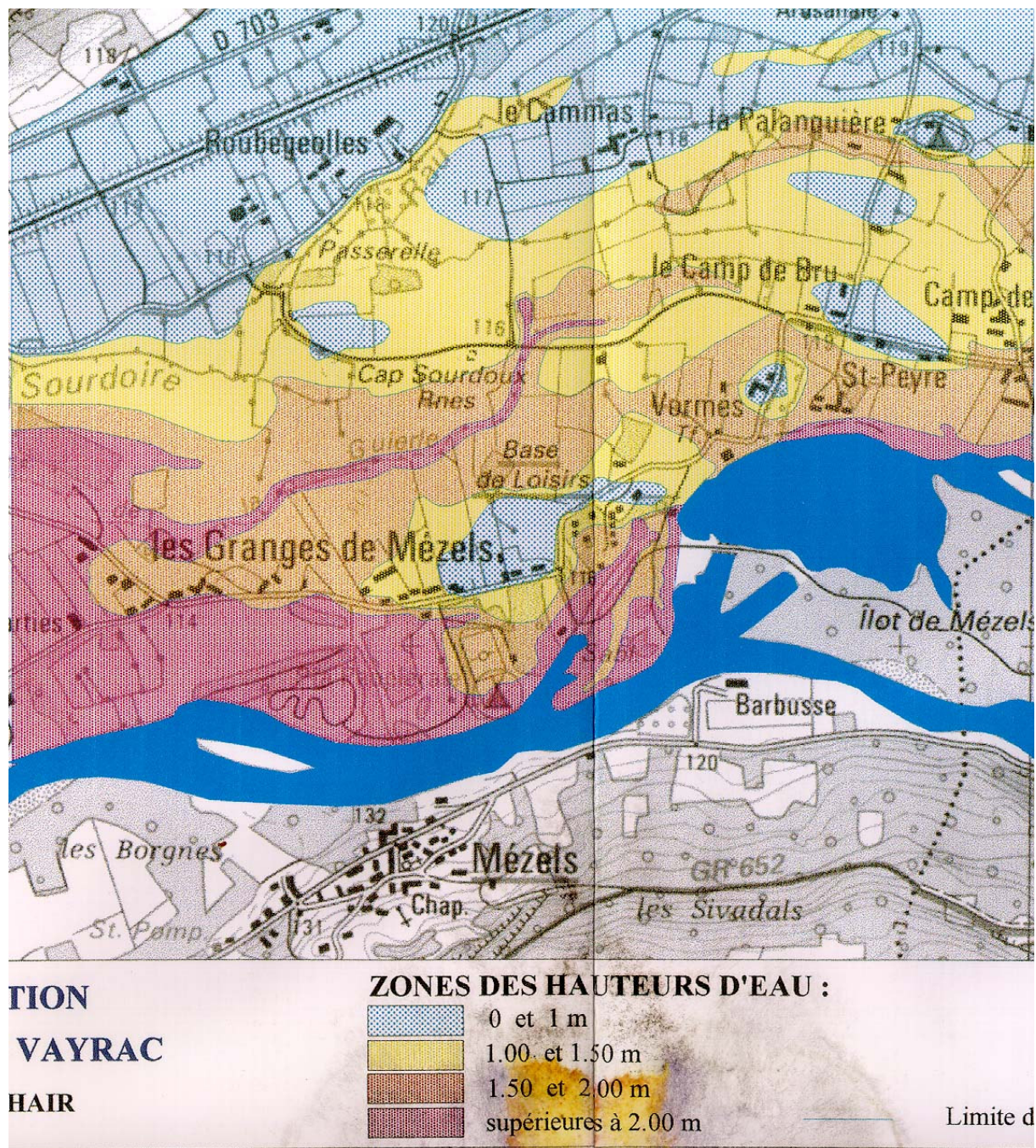
- 1 Carte 20 : *exemple de cartographie informative des zones inondables aux environs de Figeac, Lot, France (source : D.I.R.E.N. Midi-Pyrénées)*
- 2 Carte 21 : *extrait de carte hydrogéomorphologique pour la commune de Vayrac, Lot, France (réalisation : Géosphair – source : D.D.E.46)*
- 3 Carte 22 : *extrait de carte des hauteurs d'eau du P.P.R. Inondation de la commune de Vayrac, Lot, France (réalisation : Géosphair – source : D.D.E.46)*
- 4 Carte 23 : *extrait de carte des vitesses du P.P.R. Inondation de la commune de Vayrac, Lot, France (réalisation : Géosphair – source : D.D.E.46)*



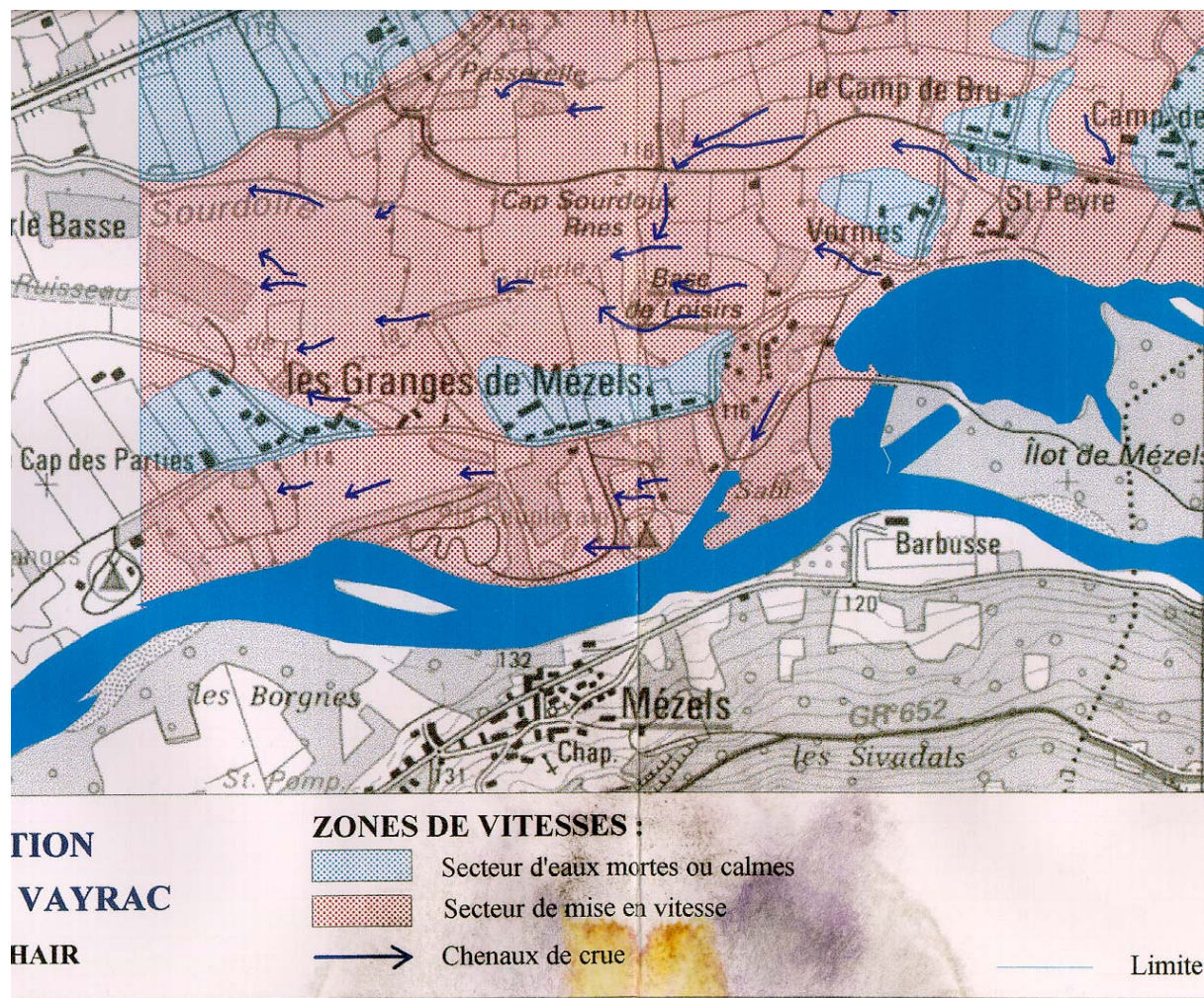
Carte 20 : exemple de cartographie informative des zones inondables aux environs de Figéac, Lot, France (source : D.I.R.E.N. Midi-Pyrénées)



Carte 21 : extrait de carte hydrogéomorphologique pour la commune de Vayrac, Lot, France
(réalisation : Géosphair – source : D.D.E.46)



Carte 22 : extrait de carte des hauteurs d'eau du P.P.R. Inondation de la commune de Vayrac, Lot, France (réalisation : Géosphair – source : D.D.E.46)



Carte 23 : extrait de carte des vitesses du P.P.R. Inondation de la commune de Vayrac, Lot, France
(réalisation : Géosphair – source : D.D.E.46)

Glossaire

Acceptabilité du risque	Un risque est considéré comme acceptable (ou tolérable) par une personne ou une communauté lorsque celle-ci supporte les conséquences dommageables potentielles du risque (vulnérabilité des enjeux) en regard de la probabilité d'occurrence de ce dernier (aléa). La notion d'«acceptabilité du risque» est surtout employée dès lors qu'il y a atteinte à des vies humaines.
Accident	Réalisation de l'incertitude liée à l'aléa, danger avéré.
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. L'ADEME est un établissement public à caractère industriel et commercial créé par la loi du 19 décembre 1990. Elle intervient dans différents domaines liés à l'environnement, sous forme de conseils techniques, de missions de recherche et d'incitations financières.
ADRM	Atlas Départemental des Risques Majeurs. Ensemble des cartes intégrées au DDRM (Dossier Départemental des Risques Majeurs). Elles permettent de repérer les communes concernées, risque par risque, puis de localiser au sein de ces communes les périmètres où la confrontation des aléas avec les zones habitées (enjeux) nécessite d'organiser l'information des populations.
Affichage du risque	Mesure consistant à mettre à la disposition du citoyen des informations sur les risques qu'il encourt. Le préfet recense les risques et mesures de sauvegarde dans un dossier synthétique qu'il transmet au maire ; celui-ci établit un document d'information consultable en mairie et en fait la publicité. L'affichage du risque est également réalisé par des affichettes situées dans les halls d'immeubles et les terrains regroupant au moins 50 personnes (travail, logement, loisirs...).
AGREGEE	Modèle synthétique récent d'estimation des crues rares à partir de la connaissance des crues observables (ou simulables), des observations historiques, des rapports entre les volumes et les seuils (de débits), et des fortes pluies (extension et généralisation du modèle dit «du Gradex», connu de plus longue date).
Agressivité d'un réseau (sur un autre réseau)	Capacité de propagation des accidents d'un réseau sur un autre réseau : on dit que le réseau R1 est agressif vis-à-vis du réseau R2 lorsqu'un accident sur le réseau R1 peut se transmettre sur le réseau R2 – classiquement par proximité géographique (voir aussi «Vulnérabilité d'un réseau (par rapport à un autre réseau)»).
Aide à la décision	Activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant (individu ou groupe), dans un processus de décision et concourant à éclairer la décision.
ALARME (plan)	Plan d'Alerte Liée Aux Risques Météorologiques Exceptionnels. Lorsque

	les prévisions des services de la Météorologie Nationale font état d'un niveau de risque grave de par leur étendue géographique ou leur intensité, le préfet peut déclencher préventivement la mise en place de moyens départementaux et au besoin, extra-départementaux, de détection, d'alerte, de commandement et de lutte, avec pour principaux objectifs de diminuer les temps d'accès au lieu de la catastrophe et d'optimiser la coordination des moyens.
Aléa	<p>Incertitude sur le déroulement (moment, circonstances) et la probabilité des phénomènes catastrophiques. Dans un contexte d'analyse scientifique du risque, l'aléa est décrit conjointement par la nature du phénomène, son intensité et sa probabilité d'occurrence. Les aléas des risques naturels sont qualifiés de "naturels" bien que leur enchaînement soit de plus en plus influencé par les actions humaines.</p> <p>Par dérive sémantique, le terme d'"aléa" est également employé pour désigner le phénomène catastrophique.</p>
Alerte	Procédure d'information visant à protéger les populations d'une catastrophe, depuis la prévision de celle-ci jusqu'à l'évanouissement de la menace.
Aménagement du territoire	Politique et moyens visant à mieux répartir les activités humaines et économiques sur l'ensemble du territoire national. L'objectif de l'aménagement du territoire est de compenser les handicaps de certaines zones rurales ou en périphérie urbaine et de satisfaire les besoins des populations intéressées en mettant en place les équipements nécessaires et en valorisant les ressources naturelles. Depuis 1999, on associe à l'aménagement du territoire la notion de développement durable, censé garantir à la fois le progrès économique, l'équité sociale et la qualité de l'environnement.
Amortissement	Imputation en comptabilité des sommes nécessaires au maintien en état du capital (capital-espèces ou capital-outil, capital-mobilier, etc.) dont on constate qu'il est déprécié, usé, périmé.
ANENA	Association Nationale pour l'Étude de la Neige et des Avalanches.
Annonce des crues	Avertissement diffusé à l'avance par un service spécial de l'État (service d'annonce de crues). En cas d'alerte pluviométrique ou hydrologique (déclenchement sur dépassement de seuils), le service d'annonce des crues propose au préfet la mise en alerte des maires des bassins versants concernés. Au fur et à mesure d'une crue à débordement grave, le service d'annonce des crues diffuse, à l'intention des préfets et des maires, des bulletins de situation hydrologique et d'information sur l'évolution des hauteurs d'eau. En 1994, 54 services d'annonce des crues surveillent en France 16000 km de cours d'eau à l'aide de réseaux de mesure automatisés.
Anthropique	Relatif à l'homme, aux milieux peuplés par l'homme ou aux activités humaines.
APE	Activité Principale Exercée par une entreprise ou un établissement. L'APE est un code attribué par l'INSEE à chaque établissement selon son activité principale. Il est constitué de trois chiffres et d'une lettre d'après la nomenclature d'activités françaises. Le code APE ne peut constituer qu'un

	élément d'appréciation d'une réglementation ou d'un contrat.
Article R. 111-3 du code de l'urbanisme	(D. n° 76-276, 29 mars 1976 ; D. n° 77-755, 7 juillet 1977 ; D. n° 81-534, 12 mai 1981 ; D. n°82-584, 29 juin 1982 ; D. n° 86-984, 19 août 1986) La construction sur des terrains exposés à un risque (tel que : inondation, érosion, affaissement, éboulement, avalanches) peut, si elle est autorisée, être subordonnée à des conditions spéciales. Ces terrains sont délimités par arrêté préfectoral pris après consultation des services dans les formes prévues par les textes.
Assainissement	Collecte des eaux usées et pluviales des habitations ou de surfaces imperméables (routes, parkings...) en vue de leur traitement par une station d'épuration.
Avalanche	Une avalanche correspond à un déplacement rapide, à une vitesse supérieure à 1 m/s, d'une masse de neige sur une pente, provoqué par une rupture du manteau neigeux ; cette masse varie de quelques dizaines de mètres cubes à plusieurs centaines de milliers. Il existe 3 types d'avalanche : les avalanches de poudreuse (consécutives à de fortes précipitations neigeuses), les avalanches de type "plaque à vent" (rupture d'un manteau neigeux stratifié) et les avalanches de neige humide (provoquées par le redoux et la fonte des neiges).
Aversion au risque	Voir "Perception du risque".
BAAC	Bordereau d'Analyse des Accidents Corporels. Base de données thématiques sur les accidents routiers. Ces données de type alphanumérique renseignent sur le lieu, l'environnement, les véhicules et les usagers impliqués dans l'accident. Elles peuvent faire l'objet d'un géocodage afin d'être intégrées dans un SIG sur l'accidentologie (ex. : CONCERTO).
Barrage	Ouvrage naturel ou artificiel, généralement établi en travers d'une vallée, transformant en réservoir d'eau un site naturel approprié. Les barrages servent principalement à la régulation des cours d'eau, à l'alimentation en eau des villes, à l'irrigation des cultures, au soutien d'étiage, à la production d'énergie électrique et au tourisme et aux loisirs.
Bassin de risque	Entité géographique homogène soumise à un même phénomène naturel.
Bassin-versant	Espace délimité de façon telle que toutes les précipitations qui tombent sur ce bassin contribuent au débit d'effluent. Un bassin-versant peut être décomposé en plusieurs sous-bassins.
Beaufort (échelle de)	Échelle utilisée par les marins et les météorologistes pour indiquer la vitesse du vent. Elle fut inventée en 1805 par l'hydrographe irlandais Francis Beaufort. Ses caractéristiques originales ont été modifiées en 1946 ; l'échelle utilisée aujourd'hui en mer s'étend du degré 0 (vent calme, inférieur à 1 km/h) au degré 12 (ouragan, supérieur à 118 km/h).
Bief	Portion de cours d'eau entre deux chutes, d'un canal de navigation entre deux écluses.
Bien-être collectif	Quantité représentative du patrimoine et de la fonction d'utilité de chacun

	des individus d'une communauté. La variation du bien-être collectif permet de mesurer ex-ante l'intérêt des décisions qui s'offrent au gestionnaire du risque, ou d'évaluer ex-post l'impact des mesures prises effectivement.
BRAM	Bulletin Régional d'Alerte Météo concernant des phénomènes météorologiques répertoriés et définis par des seuils, à destination des autorités locales.
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Établissement public à caractère industriel et commercial créé en 1959.
CARIP	Cellule d'Analyse des Risques et d'Information Préventive (circulaire du 13 décembre 1993). Commission chargée de mettre en œuvre dans le département le dispositif d'information préventive des populations sur les risques majeurs. Elle est placée sous l'autorité du préfet et regroupe les principaux acteurs départementaux du risque majeur et de la sécurité civile.
Casier	Zone élémentaire de stockage en lit majeur pour un cours d'eau.
Catastrophe	Réalisation d'un risque comme manifestation de dommages et de nuisances d'ampleur catastrophique, consécutivement à la survenance d'un accident ou d'un phénomène désastreux.
Catastrophe naturelle	Événement (inondation, tremblement de terre, avalanche...) qui, par l'ampleur et le coût des dommages causés par les seules forces de la nature, revêt un caractère catastrophique. En France, les caractères "anormal" et "naturel" d'un phénomène relèvent d'un arrêté interministériel qui constate l'état de "catastrophe naturelle" et détermine les zones touchées, la période considérée et la nature des dommages à prendre en compte.
CEMAGREF	Centre d'Études du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts. Le CEMAGREF est un institut public de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement.
CEREVE	Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Eau, la Ville et l'Environnement. Unité de l'ENPC (École Nationale des Ponts et Chaussées), anciennement connu sous le nom de CERGRENÉ.
CERGRENÉ	Centre d'Enseignement et de Recherche pour la Gestion des Ressources Naturelles et de l'Environnement. Ancienne dénomination du laboratoire CEREVE.
CERTU	Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques.
CETE	Centre d'Études Techniques de l'Équipement.
CIFSC	Centre Inter-Régional de Formation de la Sécurité Civile.
CIRCOSC	Centre Inter-Régional de Coordination Opérationnelle de la Sécurité Civile, chargé essentiellement des tâches de supervision dans

	l'organisation de la sécurité des populations.
Clé de détermination du risque	<p>Méthode de quantification du niveau de risque à partir des niveaux d'aléa et de vulnérabilité. De manière logique, cette détermination dépend de la manière dont sont exprimées chacune des deux composantes du risque. Les méthodes les plus couramment employées sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le calcul de l'espérance des dommages par produit de la probabilité d'occurrence du phénomène (aléa) par le montant des conséquences dommageables (combinaison des valeurs des enjeux et de leur vulnérabilité), • l'usage d'un tableau à double entrée permettant de confronter des niveaux discrétisés d'aléa et de vulnérabilité, • la comparaison des niveaux d'aléa et de vulnérabilité en regard de valeurs-seuils (seuils réglementaires, risque maximum acceptable, etc.).
CLPA	Carte de Localisation Probable des Avalanches.
CLS	Contrat Local de Sécurité (circulaire interministérielle du 28 octobre 1997). Ces contrats organisent un partenariat actif entre tous ceux qui, au plan urbain local, contribuent à la sécurité. Ils comportent un diagnostic de sécurité (état de la délinquance, attentes de la population, moyens disponibles...) et les objectifs prioritaires à atteindre par rapport à ce diagnostic, en privilégiant l'éducation à la citoyenneté, la proximité, la prévention, l'insertion, la solidarité.
CMA	Coût Moyen Annuel. Espérance annuelle du montant des dommages engendrés par l'action d'un phénomène donné. Mathématiquement, le CMA correspond à l'intégrale de la fonction de coût des dommages C par rapport à la fréquence N du phénomène. Graphiquement, le CMA correspond à l'aire sous la courbe représentative de cette même fonction.
Coefficient d'endommagement	Rapport entre le montant des dommages et la valeur des biens exposés. Ce rapport peut-être mis en relation avec les caractéristiques physiques de l'aléa (par exemple, la hauteur et la durée de submersion pour une inondation) à travers une fonction ou courbe d'endommagement (voir aussi "Taux d'endommagement").
Coefficient de passage	Coefficient permettant d'ajuster les valeurs des biens exposés établies pour les postes MOS du secteur "habitat" sur une commune à une autre commune.
CONCERTO	Applicatif SIG dédié à la connaissance de l'accidentologie et intégrant un module statistique. Il est conçu pour gérer une base locale d'accidents, alimentée par le BAAC (Bordereau d'Analyse des Accidents Corporels), saisi sur support informatique par les forces de police. Les fonctionnalités de CONCERTO permettent de réaliser un bilan global et d'identifier les enjeux de sécurité routière.
COS	Coefficient d'Occupation des Sols. Le COS est le rapport entre la surface du plancher hors-œuvre nette susceptible d'être construite et la surface du terrain qui fait l'objet de la demande d'autorisation de construire.
Crue	Phénomène caractérisé par une montée en général assez rapide du niveau d'un cours d'eau, liée à une croissance du débit jusqu'à un niveau

	maximum depuis lequel il redescend en général plus lentement. Ce phénomène peut se traduire par un débordement hors de son lit mineur. Les crues font partie du régime d'un cours d'eau. En situation exceptionnelle, les débordements peuvent devenir dommageables par l'extension et la durée des inondations (en plaine) ou par la violence des courants (crues torrentielles).
Crue de projet	Crue à laquelle tout barrage concerné par le fleuve doit pouvoir résister dans des conditions de sécurité convenables.
Crue de référence	La crue de référence en un endroit donné correspond à la crue contre laquelle sont définis les objectifs de prévention. Les circulaires interministérielles du 24 janvier 1994 et du 24 avril 1996 définissent implicitement cette notion : elles imposent en effet aux PPR de “délimiter des zones d'aléas les plus forts en fonction des hauteurs d'eau atteintes par une crue de référence qui est la plus forte crue connue ou, si cette crue était plus faible qu'une crue de fréquence centennale, cette dernière”.
Crue historique	Crue maximale enregistrée de mémoire d'homme. Elle est caractérisée notamment par les hauteurs d'eau, l'emprise des inondations et la période de retour estimée.
Crue-éclair	Concentration rapide et violente des précipitations, qui survient sur les cours d'eau à forte pente et à fort débit solide.
Culture du risque	Connaissance rationnelle du risque à l'échelle de l'acteur du risque (décideur, représentant local, formateur, habitant...). La connaissance englobe l'ensemble des aspects du risque dans la limite du rôle joué par l'individu : connaissance de l'incertitude lié au phénomène, de la gravité des conséquences, des mesures de prévention (information, réactions en cas d'alerte, secours), des actions de restauration, etc.
Cyclone	Tempête caractérisée par le mouvement giratoire convergent et ascendant du vent autour d'une zone de basse pression où il a été attiré violemment d'une zone de haute pression. Lorsqu'il parvient à maturité, le cyclone devient ouragan.
Cyndinique	Science du danger. La cyndinique propose d'“échapper à l'illusion de la fatalité” suscitée par les catastrophes en étudiant les causes (cyndinogénèse) et les remèdes (cyndinologie) des dangers, associés à des accidents de niveaux de gravité très variés (il peut s'agir aussi bien d'accidents domestiques que d'accidents majeurs).
Danger	Menace de la sûreté ou de l'existence de personnes, des biens, des activités et des milieux, inhérente aux effets catastrophiques d'un phénomène potentiel. Le danger est uniquement dû à la présence d'un aléa ; il existe indépendamment de la présence d'enjeux au sol.
DCS	Dossier Communal Synthétique. Document réglementaire qui présente les risques naturels et technologiques encourus par les habitants de la commune. Ce document a pour objectif d'informer et de sensibiliser les citoyens. Il est notifié au maire par arrêté préfectoral. Il est consultable en mairie.

DDAF	Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt.
DDE	Direction Départementale de l'Équipement.
DDRM	Dossier Départemental sur les Risques Majeurs. Document de sensibilisation regroupant les principales informations sur les risques majeurs naturels et technologiques du département (ce n'est pas un document réglementaire opposable aux tiers). Il a pour objectif de mobiliser les élus et partenaires sur les enjeux des risques dans leur département et leur commune : à ce titre, il constitue une base pour l'élaboration du DCS par le maire. Il est consultable en mairie.
DDSC	Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles. Direction du Ministère de l'Intérieur comprenant quatre sous-directions dont une Sous-Direction de la Prévention et de la Protection des Populations.
DD SIS	Direction Départementale des Services d'Incendie et de Secours.
Dégât	Domage matériel causé aux biens.
Degré d'endommagement	Indicateur représentatif de la détérioration matérielle et des perturbations fonctionnelles d'un bien (mobilier, immobilier, véhicule, etc.) consécutivement à l'action physique d'un phénomène. Classiquement, le degré d'endommagement est discrétisé selon une échelle de valeurs mises en correspondance avec la description physique de l'endommagement subi par le bien considéré.
Delta	Écart local entre TAL et TOP, caractérisant (en écart de fréquence transformable en hauteur d'eau) la marge relative de protection, ou le déficit relatif de protection, que donne le TAL par rapport au risque maximum acceptable (TOP). Cet indicateur est employé entre autre dans la méthode Inondabilité.
Désordres	Expression des effets directs et indirects d'un phénomène sur l'intégrité et le fonctionnement des milieux.
Développement durable	Choix d'investissement et d'aménagement pour privilégier un développement robuste, économique sur le long terme, en harmonie avec l'environnement biologique et géographique, et prenant en compte les risques naturels et technologiques. Il nécessite ainsi que les besoins présents soient satisfaits sans compromettre l'aptitude des générations futures à répondre à leurs propres besoins. La croissance économique fournit les meilleures conditions nécessaires à la protection de l'environnement ; et la protection de l'environnement, en équilibre avec les autres buts de l'humanité, est nécessaire pour atteindre un développement qui soit durable.
DFCI	Défense de la Forêt Contre l'Incendie.
DICRIM	Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs. Document réalisé à partir du DCS (Dossier Communal Synthétique), enrichi des mesures de prévention ou de protection qui auraient été prises par la commune. Il est consultable en mairie, mais doit également être adressé

	aux principaux acteurs du risque majeur de la commune.
DIREN	Direction Régionale de l'ENVironnement. Service chargé en particulier de l'annonce des crues.
Discrétisation	Opération de codage de l'information : les valeurs, initialement exprimées sur une échelle d'intervalle ou quantitative, sont transformées par rapport à une échelle discrète ou qualitative.
Disposition (ou consentement) à payer	Montant monétaire que serait prêt à payer un individu pour compenser l'effet dommageable ou préjudiciable d'un phénomène donné.
Dommages	<p>Conséquences défavorables de l'action effective d'un phénomène sur les biens (dégâts), les activités (perturbations) et les personnes (préjudices). En règle générale, ils sont quantifiés de manière économique. On distingue entre autre :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les dommages tangibles et intangibles, selon que les effets dommageables soient directement chiffrables ou qu'ils ne puissent être intégrés dans un calcul économique ; • les dommages directs et indirects, selon que les effets dommageables sont imputables directement à l'action physique du phénomène ou provoqués par l'intermédiaire de conséquences du phénomène.
Dommages directs	Toute perte liée à un impact physique du phénomène, occasionnant une destruction matérielle ou corporelle.
Dommages indirects	<p>Coûts de remise en état, d'intervention et de pertes d'exploitation consécutives à une catastrophe. Ils sont subdivisés entre autre en coûts de relogement, coûts de services d'intervention, coûts de nettoyage, pertes d'exploitation et pertes de valeurs d'usage des terrains et équipements. Dans l'acception FHRC, on distingue 6 catégories de dommages indirects :</p> <ul style="list-style-type: none"> • interruptions d'activités de production industrielle, • interruptions d'activités commerciales et de services, • coupures de réseaux de transport et de communication, • interruptions des prestations des services publics de distribution (électricité, eau), • autres perturbations affectant les ménages, • coûts des services de secours et d'interventions d'urgence.
Dommages intangibles	Pertes irremplaçables liées à une catastrophe. Le terme d'irremplaçabilité traduit l'impossibilité de compenser cette perte par réparation, substitution ou contrepartie financière. Les dommages intangibles regroupent ainsi les pertes humaines, les problèmes de santé, les dégradations irréversibles de l'environnement et du patrimoine et la perte de biens privés jugés irremplaçables.
Dommages tangibles	Pertes liées à une catastrophe et dont la compensation est rendue possible par réparation, substitution ou contrepartie financière. Les dommages tangibles sont parfois définis par leur capacité à être chiffrables économiquement. Ils regroupent entre autre les biens mobiliers et immobiliers, les stocks et les infrastructures.

DPPR	Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques. Direction du Ministère de l'Environnement chargée, entre autres missions, de mettre en oeuvre l'information préventive sur les risques majeurs.
Drainage	Le drainage a pour objectif d'éliminer l'excédent d'eau de certains sols saturés en vue de les rendre exploitables.
DREIF	Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France.
DRIRE	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement.
DSC	Direction de la Sécurité Civile.
DSIN	Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires.
DTU	Document Technique Unifié. Document qui définit les règles de construction parasismique applicables aux bâtiments.
Économétrie de la prévention	Évaluation des effets attendus ou observés d'actions préventives en termes de coûts et de bénéfices (ou recettes) et de leur intérêt économique global, par comparaison entre différentes solutions dont celle consistant à ne rien faire.
Écotoxicologie	Étude du devenir et des effets des substances chimiques toxiques dans l'environnement.
EDF	Électricité De France.
Éducation du risque	Ensemble de dispositions et d'actions visant à enrichir la culture du risque des différents acteurs impliqués (gestionnaires, décideurs, aménageurs, etc. sans oublier les populations menacées).
Élément de vulnérabilité	Enjeu, élément exposé à un risque.
Enjeux	Valorisation physique, économique ou financière des éléments (personnes, biens, activités, moyens, environnement, patrimoine, etc.) susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel ou anthropique. En particulier, les enjeux des activités sont représentés par des valeurs immobilières, mobilières, de stock et de chiffres d'affaires. Les enjeux peuvent correspondre à des activités exposées, ou des activités concernées du fait de l'interruption de services d'équipements (électricité, téléphone...) ou de perturbation de circuits économiques.
ENPC	École Nationale des Ponts et Chaussées (située à Marne-la-Vallée – Seine-et-Marne).
ENTPE	École Nationale des Travaux Publics de l'État (située à Vaulx-en-Velin – Rhône).
Éruption volcanique	Sortie de magma et de gaz jusqu'à la surface, le long des failles de la croûte terrestre.
ESB	Encéphalopathie Spongiforme Bovine, plus connue sous le nom de

	“maladie de la vache folle”.
Étiage	Le plus bas niveau enregistré pour un cours d’eau.
Facteur de vulnérabilité	Facteur impliquant un certain type de réponse de la société impliquée. Il s’agit principalement des facteurs démographiques et des facteurs économiques et sociaux.
FAR	Fatal Accident Rate. Probabilité d’accident mortel consécutif à l’exercice d’une activité donnée. Le FAR s’exprime comme le risque encouru par un groupe de 1000 personnes travaillant pendant 40 ans de vie active à raison de 2500 heures de travail par an.
Feu de forêt	Incendie prenant naissance et se propageant dans des formations d’une surface minimale d’un hectare de forêt, maquis ou garrigue. Le feu de forêt résulte de la présence simultanée d’une source de chaleur (une flamme), d’un apport d’oxygène (le vent) et d’un combustible (la végétation).
FHRC	Flood Hazard Research Center. Centre de recherche britannique, spécialisé dans la gestion des ressources en eau et les problèmes d’environnement et d’aménagement associés.
Fiabilité	Aptitude d’un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des conditions données et pendant une durée donnée.
FIPOL	International Oil Pollution Compensation Funds. Le FIPOL est une organisation intergouvernementale à vocation mondiale, établie par un certain nombre d’États, dans le but de permettre – dans le cas où l’indemnisation assurée par le propriétaire du navire à l’origine de la pollution serait insuffisante – d’indemniser les victimes de dommages par pollution dans les États qui en sont membres. Il est financé par des contributions de l’industrie pétrolière, et notamment par TotalFina.
FNAIM	Fédération Nationale de l’Immobilier.
Fongible	Se dit des choses qui se consomment par l’usage et peuvent être remplacées par une chose analogue (denrée, argent comptant).
Fujita (échelle de)	Échelle servant à établir la gravité des tornades en fonction des dégâts causés. Elle a été conçue en 1951 par le météorologue nippo-américain Tetsuya Fujita. Elle classe les tornades dans un ordre de gradation allant de 0 (vents légers de 64 à 116 km/h) à 5 (vents “incroyables” de 418 à 509 km/h).
GDF	Gaz de France.
Gestion de crise	Ensemble des mesures et des actions entreprises à l’occasion d’une catastrophe (naturelle, technologique, environnementale, sanitaire ou urbaine). Elle comprend la préparation à la crise (alerte, information, communication), le suivi même de la crise (protection, secours) et le traitement de l’après-crise (évaluation, restauration et indemnisation).
Gestion du risque	Processus d’intégration des résultats de l’analyse du risque avec des

	considérations sociales, économiques et politiques afin de parvenir à une décision réduisant à un niveau acceptable les conséquences d'un événement accidentel potentiel. Dans le cas de risque d'atteinte à la vie humaine, le terme de "critère de risque acceptable (ou tolérable)" est utilisé.
Glissement de terrain	Mouvement de masses de sol ou de rocher le long d'un ou plusieurs plans de glissements.
Gradex (méthode du)	D'après le constat selon lequel un bassin versant n'est plus en mesure d'absorber les pluies au-delà d'un certain seuil de saturation, la méthode du Gradex propose d'extrapoler la courbe des débits hydrologiques du bassin-versant par ajustement sur celle des pluies (Guillot et Duband, 1968).
Gravité	Capacité plus ou moins grande d'un phénomène à provoquer des victimes.
Hédonisme	Conception de l'économie selon laquelle toute activité économique repose sur la poursuite du maximum de satisfactions avec le moindre effort.
HLM	Habitation à Loyer Modéré.
HSMF	Hydrogramme Synthétique Mono-Fréquence. Opérateur représentatif du régime des crues, qui, bien que non assimilable à un hydrogramme réel, permet la cartographie des aléas inondants (caractérisés par la durée d , la profondeur p et éventuellement la vitesse V), en les caractérisant localement en fréquence F en n'importe quel point du lit (majeur).
Hydraulique	Science étudiant les transferts dans les cours d'eau (écoulements, stockages d'eau, etc.).
Hydrogéomorphologique (carte) du risque d'inondation	La carte hydrogéomorphologique présente l'aléa inondation dans sa dynamique propre, selon sa fréquence, se développant dans une plaine inondable où sont localisés les facteurs organisateurs-perturbateurs de cette dynamique.
Hydrologie	Science étudiant la production d'eau dans les rivières (pluviométrie, débitimétrie, etc.).
Hydrosystème	Système composé de l'eau et des milieux aquatiques associés dans un secteur géographique délimité, notamment un bassin versant. Le concept d'hydrosystème insiste sur la notion de système et sur son fonctionnement hydraulique et biologique qui peuvent être modifiés par les actions de l'homme. Un hydrosystème peut comprendre un ou plusieurs écosystèmes.
IAURIF	Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France.
IC	Installation Classée (voir plus bas).
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement.

IdF	Île-de-France.
IGN	Institut Géographique National.
IIBRBS	Institution Interdépartementale des Barrages Réservoirs du Bassin de la Seine.
Impact	Terme qui recouvre généralement l'ensemble des effets d'un phénomène (dégâts, préjudices, désordres, perturbations, dommages, nuisances).
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques.
INES	International Nuclear Event Scale. Échelle de gravité destinée à informer le public de la significativité des incidents ou accidents nucléaires menaçant sa sécurité. L'échelle s'étend du degré 1 (anomalie) au degré 7 (accident majeur).
Information préventive	Ensemble des mesures prises par l'État ou à la demande de l'État pour informer les populations des risques encourus, et des mesures de sauvegarde. Elle a été instaurée en France par l'article 21 de la loi du 22 juillet 1987 : "le citoyen a le droit à l'information sur les risques qu'il encourt en certains points du territoire et sur les mesures de sauvegarde pour s'en protéger".
Ingénierie du risque	L'ingénierie du risque a pour objet la conception des dispositifs (équipements, procédures...) visant à prévenir le risque (diminution de sa probabilité d'occurrence ou de ses conséquences). Elle repose sur l'application de normes, réglementations et règles de l'art résultant de l'expérience acquise (à travers l'évolution des techniques et l'analyse des accidents) et évoluant avec elle.
Inondabilité (méthode)	Méthode élaborée par le CEMAGREF dont la vocation est de prévenir du risque d'inondation par la comparaison des niveaux d'aléa (période de retour effective) et de vulnérabilité (période de retour acceptable). La démarche aboutit à la synthèse d'un document cartographique comme support d'aide à la décision pour l'aménagement des cours d'eau.
Inondation	Submersion rapide ou lente d'une zone pouvant être habitée. Les inondations peuvent se manifester de nombreuses manières : par débordement direct (le cours d'eau sort de son lit mineur), par débordement indirect (les eaux remontent), par stagnation d'eaux pluviales (les eaux de pluie s'infiltrent mal ou sont mal évacuées), par ruissellement en milieu urbain (des pluies intenses ruissellent et saturent les réseaux d'évacuation), par crues torrentielles, par submersion de zones littorales, par dépressions tropicales ou par destruction d'ouvrages de retenue.
INRETS	Institut National de REcherche pour les Transports et leur Sécurité.
INSEE	Institut National de la Statistique et des Études Économiques.
Installation classée (IC)	Usine, entreprise ou dépôt qui présente, au regard de la loi, des risques ou des inconvénients pour l'environnement ou le voisinage (loi du 19 juillet 1976).

Intensité	Expression d'un phénomène, évaluée ou mesurée par ses paramètres physiques.
Intercommunalité (ou coopération intercommunale)	Coopération entre communes appartenant à la même agglomération ou partageant les mêmes types de problèmes. Ces communes transfèrent certaines de leurs compétences à un établissement public (district, syndicat, communauté urbaine...) au sein duquel elles sont représentées.
JO	Journal Officiel.
Lit majeur	Espace occupé par un cours d'eau lors d'une inondation. Il peut être scindé en deux zones : <ul style="list-style-type: none"> • une zone d'écoulement, au voisinage du lit mineur, où le courant a une forte vitesse ; • une zone de stockage des eaux, où la vitesse est faible : ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue, c'est-à-dire la réduction de la montée des eaux à l'aval.
Lit mineur	Partie du lit compris entre des berges franches ou bien marquées, dans laquelle l'intégralité de l'écoulement s'effectue la quasi totalité du temps en dehors des périodes de très hautes eaux et de crues débordantes. Dans le cas d'un lit en tresse, il peut y avoir plusieurs chenaux d'écoulement.
Lusser (théorème de)	Théorème selon lequel la probabilité de succès d'une chaîne de composants est égale au produit des probabilités de succès pour chacun de ses éléments.
Maître d'œuvre	Personne, entreprise qui est chargée de diriger la réalisation d'un ouvrage ou des travaux pour le compte du maître de l'ouvrage (celui qui finance).
Maître d'ouvrage	Personne publique ou privée pour le compte de laquelle des travaux ou des ouvrages sont réalisés. Responsable de la bonne utilisation des fonds, il effectue le paiement des travaux et opérations.
Maîtrise de risque	La maîtrise de risque a pour objectif de maintenir le risque à l'intérieur de limites considérées comme acceptables. Elle est réalisée à travers l'ingénierie du risque et la mise en place de structures organisationnelles.
Maîtrise d'oeuvre	Mission confiée par le maître d'ouvrage, qui doit permettre d'apporter une réponse architecturale, technique et économique au programme défini par la maîtrise d'ouvrage. La mission de maîtrise d'œuvre comporte des étapes normalisées : esquisses, avant-projet, projet détaillé, assistance pour la passation de marchés, contrôle des travaux, assistance à la réception des travaux.
Maîtrise d'ouvrage	Dans une opération de construction (d'un bâtiment ou d'une infrastructure), le maître d'ouvrage est la personne morale pour laquelle l'ouvrage est construit. Il lui appartient d'en déterminer la localisation, d'en définir le programme, d'en arrêter l'enveloppe financière prévisionnelle ; d'en assurer le financement et de choisir le processus selon lequel l'ouvrage sera réalisé. Pour l'ensemble des ouvrages existants dont il est responsable, il définit également les principes de leur exploitation et leur entretien, définit les dotations financières qui y sont consacrées et en

	assure le financement.
MATE	Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.
Mitigation	Atténuation des effets de la survenance des risques en agissant sur la cause des risques (notamment lorsqu'ils sont d'origine anthropique) et en protégeant les enjeux.
MNT	Modèle Numérique de Terrain.
Mode d'endommagement	<p>Terme équivoque dont l'ambiguïté est levée par le contexte. Il peut correspondre :</p> <ul style="list-style-type: none"> • soit au descriptif des dommages et préjudices déplorés sur une entité (bien, activité, personne) à la suite de l'action directe ou indirecte d'un phénomène (exemples : la fissuration des murs d'une maison, le stress d'un individu, etc.) ; • soit à la manière dont une entité subit dommages et préjudices, et, dans ce cas, le mode d'endommagement est directement lié au phénomène considéré (exemples : l'action physique d'un séisme sur une maison, l'impact psychologique des inondations sur les populations, etc.).
MOS	Descriptif exhaustif de l'occupation des sols de la région Ile-de-France. Réalisé pour la première fois en 1974 sous forme d'atlas, il est aujourd'hui numérisé (mises à jour en 1982, 1987, 1990 et 1994). Les sols sont décrits par des légendes allant de 11 à 110 postes et sur des échelles variant du 1/600000 ^{ème} au 1/2000 ^{ème} .
Mouvement de terrain	Déplacement plus ou moins brutal du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle ou anthropique. Les mouvements de terrain peuvent se manifester de manière lente et continue (affaissement, tassement, gonflement-retrait, glissement) ou au contraire de manière rapide et discontinue (effondrement, écroulement, coulées boueuses et torrentielles). Les mouvements de terrain peuvent aussi être provoqués par érosion littorale, ou de manière induite, par les effets indirects d'autres risques.
MSK – Medvedev, Sponheuer, Karnik (échelle)	Échelle de valeurs pour la mesure de l'intensité des séismes, caractéristique des dégâts observés sur le site ; cette échelle s'étend sur 12 degrés, de I à XII.
NAP	Nomenclature des Activités Professionnelles établie par l'INSEE. Voir par exemple la nomenclature NAP15 subdivisée en 15 catégories (cf Tableau 56).
NGF	Niveau Général Français de 1969. Il détermine l'altitude de chaque point du territoire français, par rapport au niveau zéro de la mer. Pour mémoire, le Réseau Français de Nivellement de Précision est composé du réseau NGF-IGN 1969 (France continentale) et NGF-IGN 1978 (Corse).
Nuisances	<p>Les nuisances sont consécutives à l'action néfaste d'un phénomène donné. Elles regroupent :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les dommages, c'est-à-dire l'ensemble des dégâts et perturbations engendrées par l'action effective du phénomène, • mais aussi l'ensemble des modifications fonctionnelles sur le territoire

	dues à la seule éventualité du phénomène.
Obsolésence	Fait de devenir périmé.
ONF	Office National des Forêts. L'ONF est un organisme public chargé d'assurer pour chaque forêt, d'une manière pérenne, la préservation des milieux naturels, la production de bois nécessaire à l'économie, et les fonctions d'accueil et de récréation du public. Ces objectifs sont définis par les aménagements forestiers, dont résulte l'ensemble des actions engagées par l'Office pour la gestion durable des écosystèmes forestiers.
ONG	Organisation Non Gouvernementale. Organisation à but non lucratif agissant à l'échelle locale, nationale ou internationale. Elle est distincte d'une organisation gouvernementale et n'a aucun lien statutaire avec des gouvernements nationaux.
ORSEC (Plan)	Plan d'Organisation des SECours établi par les services préfectoraux (loi du 5 février 1952 – revue le 22 juillet 1987). Réponse à des situations de crise affectant un vaste territoire, le plan ORSEC mobilise des moyens existants relevant des collectivités locales et éventuellement des privés.
Ouragan	Forte tempête caractérisée par un vent cyclonal très violent. Le centre (ou œil) d'un ouragan n'est pas nécessairement une tornade. L'ouragan correspond à un cyclone rendu à sa maturité.
PADD	Projet d'Aménagement et de Développement Durable. Ce document définit les orientations de l'aménagement et l'urbanisme dans le souci de favoriser le renouvellement urbain et de préserver la qualité architecturale et l'environnement. Il est intégré au PLU (Plan Local d'Urbanisme), instauré par la loi SRU (Solidarité et Renouvellement Urbains).
PAE	Projet d'Action Éducative.
PAFI	Plan d'Aménagement de la Forêt contre l'Incendie.
Paramètres de référence (ou de nuisance)	Paramètres physiques d'un aléa expliquant la part la plus importante des dommages et préjudices potentiels sur chaque type de bien ou d'activité ainsi que sur les personnes physiques. Par exemple, les paramètres physiques d'une crue sont la hauteur d'eau et la durée de submersion.
Parasismiques (règles)	Ensemble de règles de construction applicables aux bâtiments neufs situés dans les zones sismiques, telles qu'elles sont définies dans le décret du 14 mai 1991.
PAZ	Plan d'Aménagement de Zone.
PC	Permis de Construire.
PDU	Plan de Déplacement Urbain. Le PDU définit les principes de transport des personnes et des marchandises, de circulation et de stationnement sur le périmètre de la communauté urbaine. Il s'intéresse également aux risques liés aux déplacements urbains : pollution de l'air, bruit, insécurité routière.

PER (document d'urbanisme)	<p>Plan d'Exposition aux Risques (loi du 13 juillet 1982). Plan élaboré et mis en oeuvre par le préfet en concertation avec le maire. Il permet de délimiter dans des zones exposées à un risque naturel prévisible :</p> <ul style="list-style-type: none"> • des zones inconstructibles (zones rouges), • des zones soumises à des prescriptions (zones bleues). <p>Il s'agit ici d'un document à effet rétroactif qui permet d'imposer des mesures aux biens et aux activités antérieures à sa parution.</p>
Perception du risque	<p>Intuition personnelle du risque, fondée sur l'appréhension, la connaissance et les enjeux du risque. De deux choses l'une : ou bien l'individu considère le risque comme acceptable, ou bien il éprouve de l'aversion au risque.</p>
PERI	<p>Plan d'Exposition aux Risques d'Inondations. Dressé par la préfecture, le PERI est un document réglementaire qui doit être intégré au Plan d'Occupation des Sols (POS) des communes traversées par le cours d'eau jugé à haut risque. Il a pour objet d'éviter les constructions "à risque" en définissant, sur la base des crues les plus importantes analysées, les zones à risque d'inondation sur lesquelles il est interdit de construire.</p>
Période de retour	<p>La période de retour d'un phénomène donné correspond au temps de délai moyen séparant deux occurrences successives. Lorsque l'on parle d'une crue centennale, on désigne la crue survenant en moyenne une fois par siècle ou, de manière équivalente, ayant 1 chance sur 100 de survenir chaque année.</p>
PHEC	<p>Plus Hautes Eaux Connues.</p>
Phénomène	<p>Dans le jargon du risque, un phénomène correspond à un événement anormal et dont les conséquences sont dommageables pour les populations, les biens, les activités et les milieux soumis à ce phénomène. Il peut être :</p> <ul style="list-style-type: none"> • naturel : le phénomène est la manifestation spontanée ou non d'un agent naturel ; par exemple, une crue est liée à l'agent naturel pluie, une avalanche est liée à la neige, un glissement de terrain à la nature des roches, à la pente et à l'eau, etc. • anthropique : cette désignation – qui ne fait absolument pas l'objet d'un consensus – pourrait regrouper l'ensemble des phénomènes non naturels, c'est-à-dire liés à l'homme, et donc associés aux risques technologiques, urbains, sanitaires et environnementaux.
PIB	<p>Produit Intérieur Brut.</p>
PIDAF	<p>Plan Intercommunal de Débroussaillage et d'Aménagement Forestier.</p>
PIG (document d'urbanisme)	<p>Projet d'Intérêt Général (circulaire interministérielle du 27 juin 1985 et article R.121-3 du Code de l'Urbanisme). Il peut être utilisé pour prévenir les risques majeurs, qu'ils soient d'ordre technologique ou naturel. Un PIG mentionne notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la définition précise du périmètre de risque, • l'indication des travaux ou les mesures visant à prévenir le risque (inconstructibilité, prescriptions spéciales...). <p>Il permet au préfet de mettre en demeure les collectivités locales et d'intégrer des contraintes urbanistiques dans les schémas directeurs et les</p>

	plans d'occupation des sols.
Plan d'urgence	<p>En cas d'échec de la prévention, le plan d'urgence est une réponse au développement possible d'un risque industriel au delà de l'enceinte de l'installation industrielle concernée, ou même en l'absence de toute installation industrielle (s'agissant d'un risque particulier bien identifié en un lieu non déterminé à l'avance, comme dans le cas de transport de matières dangereuses), afin d'en limiter les conséquences en cas d'accident. Il recense les mesures à prendre et les moyens susceptibles d'être mis en oeuvre en fonction d'une évaluation a priori des risques potentiels.</p> <p>Les plans d'urgence comprennent les Plans Particuliers d'Intervention (PPI), les "plans rouges" et les Plans de Secours Spécialisés (PSS).</p>
Plan rouge	Plan d'urgence destiné à porter secours à de nombreuses victimes. Il prévoit les procédures de secours d'urgence à engager en vue de remédier aux conséquences d'un accident catastrophique à effet limité, entraînant ou pouvant entraîner de nombreuses victimes. Il détermine les moyens, notamment médicaux, à affecter à cette mission.
PLU	Plan Local d'Urbanisme. Dans le cadre de la loi SRU (Solidarité et Renouveau Urbain) du 13 décembre 2000, le Plan Local d'Urbanisme remplace le Plan d'Occupation des Sols (POS) et devient ainsi le nouveau document d'urbanisme qui sanctionne les règles d'utilisation du sol. Le but de cette évolution est de permettre aux communes de privilégier le renouvellement urbain et de maîtriser l'extension périphérique. Ce document, plus simple à élaborer ou à réviser, présente le projet urbain de la commune en matière d'aménagement, de traitement de l'espace public, de paysage et d'environnement. Il doit être compatible avec les autres documents de planification. Le Plan Local d'Urbanisme porte sur la totalité du territoire d'une ou de plusieurs communes.
PMP (ou PML)	Pertes Maximums Probables (en anglais : Probable Maximum Losses). Indicateur des dommages maximums que l'on peut raisonnablement craindre si un phénomène donné se produit. Le PMP est un indicateur du niveau de vulnérabilité couramment employé dans le milieu assurantiel. Il est directement relié aux caractéristiques physiques du phénomène (l'aléa) correspondant au pire scénario envisageable. Les PMP d'une inondation peuvent ainsi être exprimées en fonction des pluies maximum probables, les dégâts provoqués par la grêle en fonction de la taille maximum des grêlons susceptibles de tomber lors d'un orage, etc.
PNB	Produit National Brut.
POI	Plan d'Organisation Interne. Plan élaboré et mis en oeuvre par l'industriel exploitant une installation classée présentant des risques particuliers, par la nature de ses activités et pour les populations avoisinantes et l'environnement. Il définit les règles de sécurité et les réactions à avoir pour protéger les travailleurs, les populations et l'environnement immédiat
Pollution	Dégradation physique (matières en suspension), chimique (substances en solution) ou thermique (accroissement de température) de l'environnement.

POLMAR	Plan d'urgence destiné à faire face aux POLLutions MARitimes (généralement par des hydrocarbures). Le Plan POLMAR TERRE a pour objectif principal le nettoyage des zones côtières ; le Plan POLMAR MÉDITERRANÉE met en oeuvre différents moyens de traitement de la pollution en mer : barrages flottants, diluants, pompes.
POS (document d'urbanisme)	<p>Plan d'Occupation des Sols. Document d'urbanisme fixant les règles d'occupation des sols sur la commune. Il peut être accompagné de servitudes autour des installations à risques, pouvant aller jusqu'à l'impossibilité de construire (loi du 19 juillet 1976). Il consiste en l'association de plusieurs documents complémentaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> • un document graphique – le plan de l'espace communal – sur lequel on identifie les “zonages” sur l'ensemble du territoire communal avec une légende très sommaire sur les codifications employées (notamment : U pour urbaines et N pour naturelles), • un règlement donnant quelques règles générales et surtout une définition précise de ce qui est permis, toléré ou interdit pour chaque zonage codifié, • un rapport de présentation, • des annexes. <p>Le Conseil vote le POS et le Maire exécute. Concrètement, le Maire se prononce sur les Certificats d'Urbanisme (CU), les Permis de Construire (PC) et les Déclarations de Travaux (DT). Depuis la loi SRU (Solidarité et Renouvellement Urbains) du 13 décembre 2000, le POS est remplacé par le PLU (Plan Local d'Urbanisme).</p>
PPCI	Plan de Protection Contre les Inondations. Plan permettant entre autre la création de bassins de retenue, l'aménagement des écoulements, le renforcement des ouvrages enterrés et le recalibrage des fossés. Il a par exemple été instauré dans la ville de Nîmes à la suite de la catastrophe du 3 octobre 1988.
PPI	Plan Particulier d'Intervention (loi du 22 juillet 1987). Plan d'urgence définissant les modalités de l'intervention et des secours en cas d'accident grave dans une installation classée dont les conséquences sont susceptibles de déborder l'enceinte de l'usine, en vue de la protection des personnes, des biens et de l'environnement.
PPR	<p>Plan de Prévention des Risques (document réglementaire qui délimite les zones exposées aux risques naturels prévisibles – loi Barnier du 2 février 1995). Procédure déconcentrée et simplifiée qui permet au préfet de prendre en compte les conséquences des risques naturels dans les documents d'urbanisme et les droits d'occupation du sol.</p> <p>Le document final est constitué d'un rapport de présentation contenant l'analyse des phénomènes pris en compte et leur impact sur les biens et la population, d'une carte réglementaire précisant les zones réglementées par le PPR et d'un règlement précisant les règles appliquées à chaque zone.</p> <p>Le maire doit en tenir compte lors de l'élaboration ou de la révision des POS : le PPR se substitue alors à d'autres procédures telles que PER, R. 111-3, PSS, etc.</p>
PPS	Poste Principal de Sécurité.
Prédiction sismique	Annnonce circonstanciée d'un séisme qui en précise le lieu et l'instant. Bien

	que des recherches soient actuellement conduites dans ce domaine, il n'existe aucun moyen fiable permettant de prédire avec certitude un séisme à court terme et donc de prendre les mesures de protection appropriées.
Préjudice	Conséquence néfaste, physique ou morale, d'un phénomène sur les personnes.
Préparation (à la crise)	Actions destinées à minimiser les pertes en vies humaines et les dommages, à organiser l'évacuation temporaire des populations et des biens d'un lieu menacé et à faciliter les opérations opportunes et efficaces de sauvetage, secours et réhabilitation.
Prévention	Ensemble des dispositions visant à annuler le risque ou réduire les impacts d'un phénomène naturel : connaissance des aléas, réglementation de l'occupation des sols, mesures actives et passives de protection, information des populations, prévisions, alertes, plans de secours, etc.
Prévision	Estimation de la date de survenance et des caractéristiques (intensité, localisation) d'un phénomène.
Prévision des crues	Analyse qui a pour but de déterminer les caractéristiques prévisibles des crues : débit, niveau, moment de l'apparition et durée de ces crues en différents sites du bassin versant. Les prévisions sont issues de modèles, fondés sur l'analyse des séries statistiques des crues historiques et sur la connaissance des espaces d'expansion des crues.
Prévision sismique	La prévision sismique peut se définir par le propos d'Haroun TAZIEFF : "On peut affirmer que là où un séisme majeur s'est produit, ne serait-ce qu'une seule fois dans l'histoire, d'autres séismes, au moins aussi puissants, se produiront dans l'avenir."
Principe de précaution	<p>Selon la loi Barnier du 2 février 1995, "principe selon lequel l'absence de certitudes, compte-tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement, à un coût économiquement acceptable".</p> <p>En vertu de ce principe, la difficulté scientifique à appréhender les conséquences des changements climatiques ne peut justifier l'inaction dans ce domaine.</p> <p>Tandis que les menaces sont bien identifiées dans le domaine de la prévention, le principe de précaution repose fondamentalement sur l'existence d'une incertitude. De fait, toute mesure de précaution – qu'il s'agisse d'une interdiction, d'une suspension ou d'une protection – est provisoire. Les expertises menées par la suite peuvent soit infirmer la menace (les mesures de précaution sont levées), soit l'infirmier (des mesures de prévention sont adoptées).</p>
PSI	Plan de Surveillance et d'Intervention. Le PSI identifie les risques associés à la survenance d'accidents technologiques redoutés (par exemple : accidents de TMD) et définit les moyens d'accès et les moyens de lutte sur les lieux du sinistre.
PSS (document)	Plan des Surfaces Submersibles. Plan ayant pour seul objet le libre écoulement des eaux et la conservation des champs d'inondation. Ils sont

d'urbanisme)	approuvés en Conseil d'État. Ils créent des servitudes concernant l'affectation et l'usage des sols dans les zones dénommées "surfaces submersibles" – servitudes devant figurer en annexe des POS.
PSS (plan d'urgence)	Plan de Secours Spécialisé. Plan d'urgence établi pour faire face aux risques technologiques qui n'ont pas fait l'objet d'un PPI ou aux risques susceptibles de provoquer un accident grave, tels que les risques naturels. Les PSS ont pour but de remédier à un risque déterminé, mais dont la localisation ne peut être connue à l'avance. Pour les risques technologiques – à la différence des PPI dont la mise en place s'impose pour certaines catégories d'installations – les PSS peuvent être prescrits par le préfet, en fonction des risques spécifiques tenant à la nature de chaque installation et au degré de menace qu'elle fait peser sur l'intégrité des personnes, des biens et de l'environnement
PUN	Plan d'Urgence Nucléaire.
PVD	Pays en Voie de Développement.
PZEA	Plan des Zones Exposées aux Avalanches.
PZERN	Plan des Zones Exposées aux Risques Naturels.
PZSIF	Plan des Zones Sensibles aux Incendies de Forêt.
QdF	Modèle hydrologique de synthèse, représentatif des régimes, en débits Q, durées d et fréquences F.
QIEO	Débit Q Instantané Équivalent à l'Objectif de protection minimale demandé.
RATP	Régie Autonome des Transports Parisiens.
Réseau	Infrastructure ramifiée assurant des échanges entre différents acteurs. Les échanges peuvent concerner des biens et des personnes, mais également de l'énergie ou de l'information.
Retour d'expérience	Le retour d'expérience relève d'une activité post-opérationnelle destinée à améliorer un système, quel qu'il soit, en l'enrichissant par l'intégration d'acquis issus de l'analyse de ses fonctionnements précédents. Il se fonde sur le recueil d'informations et sur des échanges ou concertations avec l'extérieur.
Richter (échelle de)	Échelle de valeurs pour la mesure de la magnitude des séismes, caractéristique de l'énergie libérée au foyer ; cette échelle s'étend de 0 à 9 – valeur maximale mesurée jusqu'à présent.
Risque	Résultat de la coïncidence de l'aléa et de la vulnérabilité de la population et des milieux exposés à un phénomène donné.
Risque alimentaire	Le risque alimentaire correspond à la menace de la présence d'un agent biologique, chimique ou physique ayant un potentiel de provoquer des effets néfastes pour la santé (risque sanitaire) ou la qualité (risque

	technologique) dans un aliment ou un groupe d'aliments.
Risque anthropique	Risque lié aux milieux peuplés ou à l'activité humaine (à distinguer du risque naturel). Les risques anthropiques regroupent les risques technologiques, les risques urbains, les risques sanitaires, les risques environnementaux.
Risque de réseau	Risque urbain caractérisé par le dysfonctionnement d'un réseau et les perturbations engendrées. Le dysfonctionnement peut être : intrinsèque à la fiabilité du réseau (endommagement, saturation), provoqué par un phénomène naturel (glissement de terrain, inondation, etc.) ou encore dû à une défaillance organisationnelle (mauvaise gestion, acte de malveillance, etc.).
Risque individuel	Probabilité annuelle qu'une personne non protégée et habitant un endroit déterminé (ou se tenant à une position déterminée) par rapport à la source d'un risque donné soit affectée par les conséquences du risque.
Risque industriel	Un risque industriel majeur est un événement accidentel se produisant sur un site industriel et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les populations avoisinantes, les biens ou l'environnement. Le risque industriel peut ainsi se développer dans chaque établissement dangereux, c'est-à-dire pour lequel les produits manipulés, les procédés de fabrication ou les types d'installations constituent des menaces.
Risque majeur	Risque lié à un aléa d'origine naturelle ou anthropique dont les effets prévisibles mettent en jeu un grand nombre de personnes, des dommages importants et dépassent les capacités de réaction des instances directement concernées. Le risque majeur est caractérisé conjointement par une faible probabilité d'occurrence et une énorme gravité en nombre de victimes ou en dommages.
Risque naturel	Risque lié à un aléa d'origine naturelle (à distinguer du risque anthropique). Les risques naturels résultent de la dissipation brutale d'énergie dans l'atmosphère, le sous-sol ou la couverture terrestre : inondations, avalanches, mouvements de terrain, séismes, éruptions volcaniques, feux de forêts, phénomènes météorologiques exceptionnels (tempêtes, cyclones, grêle, etc.).
Risque nucléaire	Dans le cadre du parc nucléaire français (centrales à réacteur à eau pressurisée), le risque nucléaire correspond aux menaces d'irradiation et de contamination radioactive pesant sur les populations, les biens et l'environnement. La réalisation du risque nucléaire est consécutive à des événements allant du simple dysfonctionnement de la centrale à la fusion du cœur du réacteur (risque majeur).
Risque prévisible	Risque susceptible de survenir à l'échelle humaine.
Risque sanitaire	Le risque sanitaire correspond à la menace que représentent les maladies, les épidémies et les virus sur les populations humaines et animales (hépatites, VIH, cancers, vache folle, listeria, etc.). La prise en compte du risque sanitaire concerne non seulement l'étude des mécanismes d'apparition et de propagation de la maladie, mais également la perception sociale du risque dont la réalité explique en partie les processus de

	contamination, de transmission et de prévention.
Risque sociétal	Relation entre le nombre de personnes tuées lors de la survenance d'un phénomène donné et la probabilité que ce nombre soit dépassé.
Risque technologique	Terme générique regroupant les risques d'origine anthropique induits par la maîtrise et la mise en œuvre de techniques modernes et complexes (par exemple, les risques industriels, nucléaires, biologiques, les ruptures de barrage, etc.).
Risque urbain	Risque occasionné exclusivement par les caractéristiques et les activités du milieu urbain. Les risques urbains regroupent les risques bâtimentaires (menaces de ruine, de pollution, d'incendies localisés, etc.), les risques de réseaux (dysfonctionnement de réseau et perturbations associées) et les risques dits "de société" (atteintes aux biens et aux personnes, conflits, attentats, etc.).
RMA	Risque Maximum Acceptable. Valeur seuil d'aléa correspondant au niveau de risque qu'un individu ou une communauté est prêt(e) à subir compte-tenu des enjeux et de la perception ressentie du risque.
RTM	Restauration des Terrains en Montagne. Service de l'ONF chargé entre autre de travaux sur les terrains domaniaux et d'expertises en matière de risques naturels en zone de montagne.
Ruissellement périurbain	Écoulement instantané et temporaire des eaux de pluies sur un versant, en direction de zones urbanisées dont il peut provoquer l'inondation.
SAC	Service d'Annonce de Crues.
Saffir-Simpson (échelle de)	Échelle de valeurs pour la mesure de la force des cyclones ; cette échelle s'étend de 1 (vents d'au moins 120 km/h) à 5 (événements rares correspondant aux vents de plus de 250 km/h).
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (loi du 3 janvier 1992). Schéma élaboré à l'échelle d'un bassin versant d'une rivière, aquifère, ou d'une zone homogène du littoral par les Commissions Locales de l'Eau, et dont l'objectif est de déterminer les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau et les aménagements à réaliser pour les atteindre. Ces schémas constituent des documents de planification ayant une portée juridique envers les décisions publiques prises par l'État et les Collectivités Locales dans le domaine de l'eau.
Scénario de crue	Dans un contexte d'étude du fonctionnement du réseau routier à la suite d'inondations, le scénario de crue correspond à l'état d'inondation maximal recensé sur la totalité de la région pour une crue et un état d'aménagement donné, avec pour conséquence la submersion d'un certain nombre d'axes routiers.
Schéma directeur	Le schéma directeur est une étude d'aménagement (pour l'environnement, les transports, l'urbanisme, l'architecture, le patrimoine, etc.) comprenant à la fois l'analyse de l'existant, des recommandations par rapport à des axes de développement et la définition des règles à suivre pour leur mise en œuvre. Au terme de l'étude, le schéma directeur devient un outil d'aide

	à la décision, permettant d'aborder les actions futures d'une manière globale. Il se présente sous la forme d'un document composé de cartes, de plans et de textes explicatifs comprenant un bilan et une analyse de la situation actuelle.
SCT	<p>Schéma de Cohérence Territoriale. Le SCT succède et remplace les anciens schémas directeurs, en vertu de la loi SRU (Solidarité et Renouvellement Urbains). Il définit les grands objectifs d'aménagement et d'urbanisme des territoires concernés. Sur la base d'un diagnostic et d'un projet de développement durable, il fixe les "objectifs des politiques publiques d'urbanisme en matière d'habitat, de développement économique, de loisirs, de déplacement des personnes et des marchandises, de stationnement des véhicules et de régulation du trafic automobile".</p> <p>Il doit définir les objectifs en matière d'équilibre social de l'habitat et de construction de logements sociaux, d'équilibre entre l'urbanisation et la desserte en transports collectifs, et d'équipement commercial et artisanal. Il doit également favoriser le développement de l'urbanisation dans les secteurs desservis par les transports collectifs et peut subordonner ce développement à la création de transports collectifs ou à l'utilisation préalable des terrains déjà situés en zone urbanisée et desservis par les équipements publics.</p>
SDAFI	Schéma Départemental d'Aménagement des Forêts contre l'Incendie.
SDAU	Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme. Document de planification ayant pour objet de fixer à long terme (de l'ordre de 30 ans) les orientations fondamentales de l'aménagement d'un territoire déterminé, généralement pluricommunal.
SDIS	Service Départemental d'Incendie et de Secours.
SDPRM	<p>Sous-Direction de la Prévention et des Risques Majeurs. Intégrée au sein de la Direction des Pollutions et des Risques du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, elle est l'héritière de l'ancienne Délégation aux Risques Majeurs créée par Haroun Tazieff en 1981. Elle a un double rôle :</p> <ul style="list-style-type: none"> • rôle technique : développer les actions de prévention dont le MATE est le maître d'ouvrage (par ex. : le zonage sismique de la France) ; • rôle d'animation et de coordination interministérielle : les politiques de prévention intéressent de nombreux ministères. La SDPRM initie des réflexions et actions auprès de ceux-ci.
Séisme (ou tremblement de terre)	Un séisme ou tremblement de terre provient de la fracturation des roches en profondeur ; celle-ci est due à l'accumulation d'une grande énergie qui se libère, créant des failles, au moment où le seuil de rupture mécanique des roches est atteint. Le séisme se traduit en surface par des vibrations du sol, provoquant ainsi des dégâts dont la gravité est fonction de l'amplitude, la fréquence et la durée des vibrations. On distingue trois types de séismes : les séismes d'origine tectonique (secousses, raz-de-marée), les séismes d'origine volcanique et les séismes d'origine humaine (remplissage de retenues de barrages, exploitation des sous-sols, explosions dans les carrières).
SEVESO (Directive /	Nom de la directive européenne du 24 juin 1982 sur la prévention des

Site)	risques d'accidents majeurs dans les installations classées et sur la protection des personnes, des biens et de l'environnement (Seveso : ville d'Italie où s'est produit un sinistre de pollution en 1976). La directive du Conseil de l'Europe du 9 décembre 1996 concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses est amenée à remplacer la directive SEVESO actuellement en vigueur.
SIDPC	Service Interministériel de Défense et de Protection Civile.
SIG	Système d'Informations Géographique. Bases de données géographiques associées à des outils de restitution cartographique. Un SIG contient des informations liées à l'urbanisme, mais aussi de plus en plus à la gestion des risques, à l'environnement, aux espaces verts, à la gestion des déchets, etc. Il constitue un outil d'aide à la décision et à la conception, au service de l'aménagement du territoire. [définition contextuelle]
Sinistre	Événement fortuit ayant occasionné l'endommagement ou la destruction d'un bien consécutivement à un phénomène extérieur involontaire : incendie, explosion, cataclysme naturel, etc. Le code des assurances définit le sinistre comme la réalisation du risque garanti : cela signifie que le sinistre ne couvre que les biens qui sont garantis contre les risques définis contractuellement.
Sinistré	Personne ayant besoin d'une assistance immédiate durant la période d'urgence (besoin de nourriture, d'eau, d'un abri ou d'une aide médicale) et également celle ayant besoin à long terme d'une assistance sociale ou économique comme conséquence directe de la catastrophe subie (support au point de vue de l'agriculture, habitation, infrastructure, réhabilitation médicale).
SIREN®	Base de données des entreprises établie par l'INSEE.
SNCF	Société Nationale des Chemins de Fer Français.
Soutien d'étiage	Action d'augmenter le débit d'un cours d'eau en période d'étiage à partir d'un ouvrage hydraulique (barrage réservoir ou transfert par gravité ou par pompage...).
Spirale de l'aménagement	Principe relevant du domaine de la prévention du risque d'inondation. L'aménagement de protections, en permettant le développement des zones nouvellement protégées, entraîne un accroissement de la vulnérabilité et donc la nécessité de réaliser de nouveaux aménagements de protection, etc. Le moyen d'éviter de tomber dans ce cercle infernal est de réglementer strictement les zones urbaines ainsi protégées et d'interdire l'urbanisation des zones vierges ou peu urbanisées.
SRU (loi)	Solidarité et Renouvellement Urbains. Loi du 13 décembre 2001 relative notamment à l'urbanisme, au logement et aux transports. Dans le domaine de l'urbanisme, elle vise principalement à renforcer la cohérence des politiques urbaines et territoriales et à lutter contre l'étalement urbain à travers le renouvellement des documents d'urbanisme (le POS devient le PLU, le schéma directeur devient le SCT, etc.) et la réforme de la fiscalité de l'urbanisme.

Sûreté	État d'un dispositif pour lequel l'on s'est prémuni contre une classe d'incidents, eux-mêmes définis par un seuil de probabilité.
TAL	Taux d'Aléa Local. Norme quantifiée et cartographiable représentant synthétiquement les aléas inondants (à ce jour : fréquences F, durées d, profondeurs p, et dans les cas favorables, vitesses V des eaux inondantes) d'un lieu donné. Il est entre autre utilisé dans la méthode Inondabilité et représente alors en deux dimensions l'emprise du phénomène, pour lequel la période de retour est connue. La confrontation du TAL et du TOP permet alors d'apprécier le niveau de risque d'inondations selon 3 modes (zones non inondées / zones à déficit de protection / zones à crédit de protection).
Taux d'endommagement	Contrepartie quantitative du degré d'endommagement d'un bien. Le taux d'endommagement est une grandeur sans unité comprise entre 0 et 1, déduite du descriptif des dommages déplorés sur le bien considéré (déterioration matérielle + perturbations fonctionnelles) consécutivement à l'action physique d'un phénomène, par le biais, par exemple, du degré d'endommagement. Il est tel que le produit "taux d'endommagement × valeur du bien endommagé" constitue une estimation du montant des dommages (voir aussi "Coefficient d'endommagement").
Tempête	Une tempête correspond à l'évolution d'une perturbation atmosphérique ou dépression, où se confrontent deux masses d'air aux caractéristiques (température, humidité) bien distinctes. Elle est caractérisée par un vent rapide qui souffle en violentes rafales, souvent accompagné d'orages et de précipitations. Les tempêtes océaniques en France résultent de l'interaction d'une perturbation véhiculée au sein d'un vent violent et glacé et d'un tourbillon de la basse atmosphère alimenté en eau et en chaleur par l'océan.
TGV	Train à Grande Vitesse.
TMD	Transport de Matières Dangereuses. Le risque associé est consécutif à un accident se produisant lors de l'acheminement de matières dangereuses par voie routière, ferroviaire, aérienne, d'eau ou par canalisation. Les matières dangereuses sont des substances qui, par leurs propriétés physiques ou chimiques ou bien par la nature des réactions qu'elles engendrent, peuvent présenter un danger grave pour l'homme, les biens ou l'environnement (produits à caractère toxique, inflammable, explosif, corrosif ou radioactif – TMR).
TMR	Transport de Matières Radioactives.
TOP	Taux d'Objectif minimal de Protection. Norme quantifiée et cartographiable représentant synthétiquement la vulnérabilité (au sens de "sensibilité") aux inondations telle qu'elle résulte d'approches socio-économiques, ou réglementaires, ou de normes, recommandations, etc., construites à partir de valeurs-seuils – supposées supportables – des aléas élémentaires inondants. Le TOP est notamment utilisé dans la méthode Inondabilité : il correspond à la période de retour acceptable (période associée au RMA) pour la parcelle étudiée, sous certaines considérations économiques. La confrontation du TOP et du TAL permet alors d'apprécier le niveau de risque d'inondations selon 3 modes (zones non

	inondées / zones à déficit de protection / zones à crédit de protection).
Tornade	Perturbation atmosphérique tourbillonnante, de petite dimension mais très intense, aux effets destructeurs. La tornade est un phénomène météorologique très compact et touchant une localité réduite.
Trombe	Phénomène identique à une tornade, se produisant en mer et de puissance généralement moindre.
Typhon	Cyclone des mers de Chine et de l’océan Indien.
UIISC	Unité d’Instruction et d’Intervention de la Sécurité Civile. Unités de renfort national pouvant intervenir en complément des sapeurs-pompiers locaux.
Utilité (fonction d’)	La métrique monétaire est déformée par les joueurs en une métrique psychologique selon une fonction d’utilité concave, dépendant entre autre du patrimoine du joueur. Selon la théorie des jeux, l’espérance du gain d’utilité réalisé en jouant doit être égale à l’utilité relative à la mise en jeu. Dans le cadre de la prise de décision en situation de risque, la fonction d’utilité considérée est souvent égale à l’opposé de la fonction de coûts (dommages déplorés + investissements de protection). Cette fonction d’utilité linéaire ne modélise cependant pas bien la forte aversion des acteurs du risque aux phénomènes dommageables extrêmes.
Valeur	La valeur d’un bien, d’une activité, d’un milieu ou d’une personne est évaluable dans le cadre de l’une des quatre définitions suivantes de la valeur : <ul style="list-style-type: none"> • valeur vénale ou marchande : il s’agit d’un prix du bien considéré, • valeur monétaire d’usage : elle correspond à l’activité économique de l’élément, • valeur fonctionnelle : elle se traduit par l’ensemble des bénéfices induits sur les autres éléments du milieu, • valeur humaine.
Vulnérabilité	La vulnérabilité exprime au sens large le niveau de conséquences prévisibles d’un phénomène naturel (ou technologique) sur les enjeux économiques, humains et environnementaux. Cette grandeur peut être évaluée par le niveau d’endommagement constaté ou potentiel de l’élément exposé, soumis à l’action d’un phénomène déclaré ou pressenti, d’intensité donnée. La vulnérabilité économique traduit généralement le degré de pertes ou d’endommagement des biens et des activités exposés à l’occurrence d’un phénomène d’une intensité donnée. La vulnérabilité humaine évalue d’abord les préjudices potentiels aux personnes dans leur intégrité physique (bilan des morts et prise en considération des blessés ↔ blessures et séquelles physiques et morales). Pour le FHRC, l’analyse de vulnérabilité s’appuie sur une description de l’impact du dommage selon 3 critères : <ul style="list-style-type: none"> • la sensibilité au dommage qui mesure la probabilité de réponse qu’une activité aura d’être affectée par celui-ci, • la dépendance, qui mesure l’intensité de la perturbation induite par un dommage donné, • la transférabilité, qui mesure la capacité d’une activité à s’adapter au

	dommage en transférant sa production dans l'espace ou en fournissant des solutions techniques de remplacement.
Vulnérabilité d'un réseau (par rapport à un autre réseau)	Dépendance fonctionnelle d'un réseau vis-à-vis d'un autre réseau : on dit que le réseau R1 est vulnérable vis-à-vis du réseau R2 lorsque le bon fonctionnement du réseau R1 est conditionné par celui de R2 (voir aussi "Agressivité d'un réseau (par rapport à un autre réseau)").
ZAC	Zone d'Aménagement Concerté (loi d'orientation foncière du 30 décembre 1967). Les ZAC sont destinées à "réaliser l'aménagement et l'équipement des terrains", notamment de ceux acquis par une collectivité afin de les céder ou de les concéder ultérieurement à des utilisateurs publics ou privés. L'article R. 311-1 du code de l'urbanisme précise que les ZAC tendent à la réalisation de constructions à usage d'habitation, de commerce, d'industrie, de services, d'installations et d'équipements collectifs publics ou privés – toutes constructions dont il serait souhaitable de réguler l'afflux dans les abords des agglomérations.
ZERMOS	Zones Exposées à des Risques liés aux MOuvements du Sous-sol.
ZIFP	Zones d'Intervention Forestières Prioritaires.
Zone d'expansion des crues	Espace naturel ou aménagé où se répandent les eaux lors du débordement des cours d'eau dans leur lit majeur. Le stockage momentané des eaux écrête la crue en étalant sa durée d'écoulement. Ce stockage participe au fonctionnement des écosystèmes aquatiques et terrestres. En général on parle de zone d'expansion des crues pour des secteurs non ou peu urbanisés et peu aménagés.

Références

- [1] AGENCE DE L'EAU SEINE-NORMANDIE : Étude de l'écosystème Seine-Amont. Sociétés AREA, EPTEAU, STRATEGIS. 1995, 11 pp.
- [2] ALECU E.-C. : Projet d'intégration des données cartographiques et d'observation de la Terre dans un SIG pour la gestion des inondations – application au bassin versant d'Arges (Roumanie). Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Études Supérieures Spécialisées de Télédétection. Juillet 1999, 59 pp.
- [3] ALPES-GEO-CONSEIL SARL : Les risques naturels.
<http://www.alpesgeoconseil.com/risques/risques.html>
- [4] AUGEREAU J.-F. & PEREIRA A. : La prévision des avalanches demeure une science inexacte. Quotidien *Le Monde*. 27 octobre 1999
- [5] BARTHÉLÉMY J.-R., BLANCHER Ph. & MARRIS C. : Aménagement de l'espace et gestion des risques aux Pays-Bas. Revue *2001 Plus* : “Aménagement de l'espace et gestion des risques aux Pays-Bas”. Centre de Prospective et de Veille Scientifique. Direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, n°46. Octobre 1998, pp. 3-7
- [6] BERGER F. & LIEVOIS J. : Détermination de zones d'interventions forestières prioritaires et création des zones vertes dans les P.P.R. ; un exemple de transfert chercheur-praticien. Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires* – n° spécial 1998 “risques naturels” du CEMAGREF : *Risques naturels : avalanches, crues, inondations, laves torrentielles, incendies de forêt*. 1998, pp. 97-104
- [7] BERNIER J. : Les conditions du dialogue entre l'homme d'étude et le décideur en situation de risque. GRESE : laboratoire de Gestion des Risques En Sciences de l'Eau. *Modélisation mathématique pour l'évaluation et la gestion des risques* – cours de 1^{ère} année de l'ENGREF, dirigé par Éric PARENT. 15 décembre 1999
- [8] BLANCHER Ph. & MARRIS C. : Maîtrise de l'urbanisme et des risques industriels majeurs. Revue *2001 Plus* : “Aménagement de l'espace et gestion des risques aux Pays-Bas”. Centre de Prospective et de Veille Scientifique. Direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, n°46. Octobre 1998, pp. 31-50
- [9] BLANCHER Ph. : Risques, ville et réseaux techniques urbains. Économie et Humanisme, Lyon. In *Risques et réseaux techniques urbains*, sous la direction de BLANCHER Ph. Collections du Certu – volume 18. 1998, pp. 13-24
- [10] BONNET E. & BOURCIER J.-C. : Effet du relief sur les impacts du risque industriel – Application à l'estuaire de la Seine. CIRTAI, Université du Havre. *Revue Internationale de Géomatique*, Vol. 10, n°2/2000. 2000, pp. 193-211
- [11] BOURG D. & SCHLEGEL J.-L. : *Parer aux risques de demain*. Éditions Seuil, Paris. 2001.
- [12] BOURRELIER P.-H. : Rapport de l'instance d'évaluation de la prévention des risques naturels.
<http://www.plan.gouv.fr/publications/4PAGrsiquesnaturels.htm>
- [13] BOURSIER-MOUGENOT I. & OLLIVIER-TRIGALO M. : La territorialité du réseau SNCF. *Flux* 12, avril-juin 1993, pp 19-28
- [14] CARTOGRAPHIE ET PREVENTION DES RISQUES MAJEURS : Colloque à l'ENSG (École Nationale des Sciences Géographiques), organisé par le MATE (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement), l'ENSG et l'ENPC (École Nationale des Ponts et Chaussées), le 26 octobre 2000.
- [15] CEMAGREF : Synthèse des débats de la table ronde “Négocier le risque”. Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires*, numéro spécial 1995 “risques naturels” du CEMAGREF. 1995, pp. 61-67

- [16] CHALINE C. & DUBOIS-MAURY J. : *La ville et ses dangers – Prévention et gestion des risques naturels, sociaux et technologiques*. Collection “Pratiques de la Géographie”, Éditions Masson, Paris. 1994, 256 pp.
- [17] CHALUMEAU E. : Analyse spatiale de la délinquance dans les diagnostics locaux de sécurité. IHESI : Institut des Hautes Études de la Sécurité Intérieure. *Représentation et gestion des risques urbains – Modèles organisationnels et outils d’information géographique* – séminaire : fondation MAIF, IDEES, IRESCO – Centre de formation de Marseille-Luminy. 31 janvier 2000.
- [18] CHARTIER B. : Retour d’expérience et SIG : application aux feux de forêt. Mémoire de DEA SIG. 1997, 50 pp.
- [19] CHLOROPHILES (Association des) : Chlore et risques. Février 1998.
<http://www.ping.be/chlorophiles/Fr/ChloreRisk.html>
- [20] CHRISTIAN B. : CONCERTO, concepts et applications à l’échelon intra-urbain. CERTU : Centre d’Études sur les Réseaux, les Transports, l’Urbanisme et les constructions publiques. *Représentation et gestion des risques urbains – Modèles organisationnels et outils d’information géographique* – séminaire : fondation MAIF, IDEES, IRESCO – Centre de formation de Marseille-Luminy. 31 janvier 2000.
- [21] CŒUR D., LANG M., NAULET R., BURNET R & STRAZZERI D. : Histoire et connaissance des phénomènes naturels extrêmes. Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires* – n° spécial 1998 “risques naturels” du CEMAGREF : *Risques naturels : avalanches, crues, inondations, laves torrentielles, incendies de forêt*. 1998, pp. 15-26
- [22] COMBE P.-M. : L’économétrie de la prévention dans la méthode Inondabilité (MI). Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires* – n° spécial 1998 “risques naturels” du CEMAGREF : *Risques naturels : avalanches, crues, inondations, laves torrentielles, incendies de forêt*. 1998, pp. 51-55
- [23] COMMISSARIAT A L’ÉNERGIE ATOMIQUE (CEA) : Les normes internationales de radioprotection. 1998.
<http://www.cea.fr/Fiches/Rayonne/Norm.htm>
- [24] CONSOLINI L. : Réseaux fiables, réseaux vulnérables : prise en compte des réseaux dans la gestion des risques. SAGERI – Groupe Gras Savoye. In *Réseaux fiables, réseaux vulnérables* – Groupe Réseaux – Compte rendu de la réunion du 24 juin 1987. Cahier n°9, septembre 1987, pp. 45-83
- [25] COSTE L. : Le réseau électrique : vulnérabilité et agressivité vis-à-vis de tous les autres réseaux. Risques & Environnement, EDF Rhône-Auvergne. In *Risques et réseaux techniques urbains*, sous la direction de BLANCHER Ph. Collections du Certu – volume 18. 1998, pp. 71-78
- [26] d’ERCOLE R. & THOURET J.-C. : Croissance urbaine et risques naturels : présentation introductive – Thème : les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie et modes d’analyse. In *Bulletin de l’Association de Géographes Français – Croissance urbaine et risques naturels*. 1995-4, 72^{ème} année (septembre), pp. 311-338
- [27] DAUPHINE A. : Risques et catastrophes : observer – spatialiser – comprendre – gérer. Éditions Armand Colin. 2001, 288 pp.
- [28] DECROP G. : Les acteurs de la négociation du risque. Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires*, numéro spécial 1995 “risques naturels” du CEMAGREF. 1995, pp. 69-78
- [29] DECROP G. : D’un itinéraire de recherche et de quelques détours... Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires* – n° spécial 1998 “risques naturels” du CEMAGREF : *Risques naturels : avalanches, crues, inondations, laves torrentielles, incendies de forêt*. 1998, pp. 9-14
- [30] DESS “Gestion des Risques”. Université de Poitiers. 1998-1999.
<http://www.univ-poitiers.fr/formation/diplomes/%5Fidx3001415000.htm>
- [31] DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L’ÉQUIPEMENT DU TARN-ET-GARONNE : recueil de différents documents : 1- Inondation du Tarn de 1996 à Montauban. Cellule hydraulique et d’annonce des crues. 7 pp., 2- Inondation du Tarn de 1982 à Montauban. Service d’annonce des crues du Bassin Moyen de la Garonne. 2 pp., 3- Dommages occasionnés par les perturbations

- atmosphériques des 7 et 8 novembre 1982
- [32] DIREN MIDI-PYRÉNÉES & GEOSPHAIR : De la cartographie informative à la cartographie réglementaire ; une démarche technique en Midi-Pyrénées. Direction Régionale de l'Environnement de Midi-Pyrénées, en collaboration avec la société Géosphair (GÉOSystèmes et PHoto-analyses Appliquées aux Inondations et aux Risques naturels). Septembre 1999, brochure de 32 pp. + 12 cartes d'annexes
- [33] DOLLE L. : Cartographie du risque : représentation de l'aléa et de la vulnérabilité – Exemple des accidents de la route. Rapport de DESS : “Image, Multimedia, Sciences Territoriales”. Université Nice Sophia Antipolis & Laboratoire COGIT (IGN). Septembre 2000, 40 pp.
- [34] DUPUY G. : *L'urbanisme des réseaux : théories et méthodes*. Éditions Armand Colin, Paris. 1991, 200 pp.
- [35] ÉDUCNET : Site des technologies d'information et de communication pour l'enseignement. La prévention des risques.
<http://www.educnet.education.fr/securite/securisk/generali/prevent.htm>
- [36] ELIOT E. : La diffusion du virus du Sida en Inde. Revue *Mappemonde* – n°3/97. 1997, 6 pp.
- [37] ESRI : recueil d'articles : 1- Russ Johnson : GIS in Public Safety. In *ArcUser* – The magazine for ESRI Software Users – *Risk Analysis and Response*. January–march 2000, pp. 12-14, 2- ESRI Info France : L'IAURIF réalise un atlas des effets de la tempête du 26 décembre. Numéro 18 d'avril 2000, page 1, 3- ADASEA de l'Aude – Évaluation de l'impact des crues. Numéro 18 d'avril 2000, page 7
- [38] EYNARD P. : Le risque dans la filière agro-alimentaire. Diagnostic des maillons faibles et perspectives. CEMAGREF. *Modélisation mathématique pour l'évaluation et la gestion des risques* – cours de 1^{ère} année de l'ENGREF, dirigé par Éric PARENT. 7 décembre 1999.
- [39] FAYE J. : La SDPRM vise au développement d'une “culture du risque”. Revue *Géomètre*. Février 2000, pp. 36-40
- [40] FEUVRIER J.-P. : Culture et mémoire du risque. Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires*, numéro spécial 1995 “risques naturels” du CEMAGREF. 1995, pp. 29-34
- [41] FLEURY D. : Modèles urbains et prévention des accidents. INRETS : Institut National de Recherche pour les Transports et leur Sécurité. *Représentation et gestion des risques urbains – Modèles organisationnels et outils d'information géographique* – séminaire : fondation MAIF, IDEES, IRESCO – Centre de formation de Marseille-Luminy. 31 janvier 2000.
- [42] GARCON R. : Prévention des risques de dysfonctionnement des barrages hydro-électriques des Alpes. Stratégie EDF et applications. *Modélisation mathématique pour l'évaluation et la gestion des risques* – cours de 1^{ère} année de l'ENGREF, dirigé par Éric PARENT. 1^{er} décembre 1999.
- [43] GARRY G. : Auch, Nîmes, Vaison-La-Romaine : Retours d'expérience. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme – Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme. In *Bulletin de l'Association de Géographes Français – Risques naturels, risques urbains*. 1995-2, 72^{ème} année (mars), pp. 131-145
- [44] GARRY G. : La prévention en matière de zones inondables. Revue *Géomètre*. Avril 1998, pp. 42-45
- [45] GENDREAU N. & LANG M. : La méthode Inondabilité. CEMAGREF. *Modélisation mathématique pour l'évaluation et la gestion des risques* – cours de 1^{ère} année de l'ENGREF, dirigé par Éric PARENT. 8 décembre 1999.
- [46] GENDREAU N. & OBERLIN G. : Modélisation de synthèse des crues : modèles hydrologiques en débit-durée-fréquence et modèles hydrauliques. Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires* – n° spécial 1998 “risques naturels” du CEMAGREF : *Risques naturels : avalanches, crues, inondations, laves torrentielles, incendies de forêt*. 1998, pp. 79-85
- [47] GENDREAU N. : La méthode Inondabilité ou comment prévenir du risque d'inondation. CEMAGREF Lyon – UR Hydrologie Hydraulique.
<http://wwwhh.lyon.cemagref.fr/public/presentations/Inondaft/>

- [48] GILARD O. : Connaître les inondations : l'exemple de la Bourbre (Isère). Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires*, numéro spécial 1995 “risques naturels” du CEMAGREF. 1995, pp. 7-16
- [49] GIVONE P. : La négociation du risque, une étape nécessaire. Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires*, numéro spécial 1995 “risques naturels” du CEMAGREF. 1995, pp. 87-95
- [50] GIVONE P. : Risques naturels et transcriptions cartographiques. Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires – n° spécial 1998 “risques naturels” du CEMAGREF : Risques naturels : avalanches, crues, inondations, laves torrentielles, incendies de forêt*. 1998, pp. 87-96
- [51] GLATRON S. : Introduction au séminaire : *Représentation et gestion des risques urbains – Modèles organisationnels et outils d'information géographique* – séminaire : fondation MAIF, IDEES, IRESCO – Centre de formation de Marseille-Luminy. 31 janvier 2000.
- [52] GLATRON S. : L'évaluation des risques technologiques majeurs en milieu urbain : approche géographique ; le cas de la distribution des carburants dans la région Ile-de-France. Thèse de doctorat en Géographie – Université de Paris I Panthéon-Sorbonne – UFR de Géographie. Décembre 97, 393 pp.
- [53] GLEIZES C. : Les responsabilités dans la négociation du risque. Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires*, numéro spécial 1995 “risques naturels” du CEMAGREF. 1995, pp. 79-85
- [54] GLEYZE J.-F. : Apport de l'information géographique dans l'analyse des risques. Application à l'étude des perturbations du réseau routier à la suite de catastrophes. A paraître dans le *Bulletin d'information de l'IGN n°72*. 2001, 17 p.
- [55] GLEYZE J.-F. : Les dommages induits par les coupures du réseau routier – Éléments de recherche pour l'évaluation de la fiabilité d'un réseau routier. A paraître dans les actes de la conférence *Risques d'accidents et risques environnementaux dans les transports routiers*, Besançon. 2001, 15 p.
- [56] GRASKZ : Projet de guide méthodologique PPR. ENPC. 10-12 décembre 1996, 72 pp.
- [57] GROSRICHARD F. : Les villes ont du mal à se priver des ressources liées au risque industriel. *Le Monde interactif*. Édition du 20 novembre 2001
<http://www.lemonde.fr>
- [58] GROUPE RÉSEAUX : Demande de création d'un Greco “Réseaux” – Complément au dossier de 1986 transmis au CNRS. Juin 1987. In *Réseaux fiables, réseaux vulnérables* – Groupe Réseaux – Compte rendu de la réunion du 24 juin 1987. Cahier n°9, septembre 1987, pp. 15-29
- [59] HUBERT G. : Le risque d'inondation pluviale urbaine : facteurs socio-économiques et jeux d'acteurs – étude des facteurs socio-économiques. CERGRENE : Centre d'Enseignement et de Recherche pour la Gestion des Ressources Naturelles et de l'Environnement. In *Risques et réseaux techniques urbains*, sous la direction de BLANCHER Ph. Collections du Certu – volume 18. 1998, pp. 80-94
- [60] HYDRATEC, SIEE, TERRITOIRES CONSEIL ASSOCIÉS : Élaboration de l'outil d'évaluation de l'impact des ouvrages existants et futurs de l'institution sur les dommages liés aux crues en région Ile-de-France – Volet socio économique, 2. Dommages associés aux transports routiers. Les Grands Lacs de Seine & Institution Interdépartementale des Barrages Réservoirs du Bassin de Seine. Juin 1998, 14 pp., annexes
- [61] HYDRATEC, SIEE, TERRITOIRES CONSEIL ASSOCIÉS : Évaluation des dommages liés aux crues en région Ile-de-France. Rapport de synthèse. Août 1998, 107 pages, annexes.
- [62] IZRAELWICZ E. : Après les tempêtes, les risques de “Réseupolis”. Quotidien *Le Monde*. 31 décembre 1999
- [63] JAPPIOT M. : Évaluation et cartographie du risque d'incendie de forêt ; vers une application sur le massif des Maures (sud-est de la France), à l'échelle des PPR. Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires – n° spécial 1998 “risques naturels” du CEMAGREF : Risques naturels : avalanches, crues, inondations, laves torrentielles, incendies de forêt*. 1998, pp. 105-114
- [64] KERVEN G.-Y. et PATEYRON E. : Quelques outils de cyndinique urbaine. Institut Européen de

- Cyndinique. In *Bulletin de l'Association de Géographes Français – "Risques naturels, risques urbains"*. 1995-2, 72^{ème} année (mars), pp. 183-192
- [65] LEONE F. : Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvement de terrain. Thèse de doctorat, Université de Grenoble 1. 1996.
- [66] LEONE F., ASTE J.-P. & VELASQUEZ E. : Contribution des constats d'endommagement au développement d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité appliquée aux phénomènes de mouvements de terrain. In *Bulletin de l'Association de Géographes Français – "Croissance urbaine et risques naturels"*. 1995-4, 72^{ème} année (septembre), pp. 350-371
- [67] LEROY A. & SIGNORET J.-P. : *Le risque technologique*. Que Sais-Je ? n°2669, Éditions PUF. 1992, 128 pp.
- [68] LEROY J.-B. : *La pollution des eaux*. Que Sais-je ? n°983, Éditions PUF. 128 pp.
- [69] MANCHE Y. : Cartographie multi-risques : une méthode semi-automatique. Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires* – n° spécial 1998 "risques naturels" du CEMAGREF : *Risques naturels : avalanches, crues, inondations, laves torrentielles, incendies de forêt*. 1998, pp. 115-119
- [70] MASURE P. : "Nous dépensons trop pour indemniser et pas assez pour prévenir". Expert au Bureau des Recherches Géologiques et Minières. Quotidien *Le Monde*. Mardi 16 novembre 1999
- [71] MINISTÈRE DE L'EMPLOI ET DE LA SOLIDARITÉ : Risques et sécurité sanitaires. Appel d'offres lancé conjointement par l'INSERM – programme de recherche en santé publique, le CNRS – programme "Santé et Société" – et la MiRe (mission recherche du ministère). 1999, 6 pp.
- [72] MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU CADRE DE VIE : Lutte contre les inondations – Méthode sommaire d'évaluation des critères économiques. Direction de la Prévention des Pollutions – Service de l'Eau – Sous-Direction des Eaux Continentales. Mars 1980, 75 pp. annexes
- [73] MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT : Portail de la prévention des risques majeurs.
<http://www.prim.net/home.htm> – Les Risques majeurs. <http://www.environnement.gouv.fr/>
- [74] MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT : Plaquette de présentation des PPR. (Plans de Prévention des Risques)
- [75] MISSION SÉCURITÉ DE L'ACADÉMIE DE ROUEN : Risques majeurs et environnement en Haute-Normandie. 1999.
http://www.ac-rouen.fr/rectorat/profession_rme/une.htm
- [76] MOUNIS J. : Après la catastrophe de 1988, la ville de Nîmes prend ses dispositions. Revue *Géomètre*. Février 2000, pp. 48-49
- [77] MUNIER B. : L'évaluation économique des risques naturels. GRID (Groupe de Recherche sur le Risque, l'Information et la Décision) de l'ENS Cachan. In *Aspects socio-économiques de la gestion des risques naturels* – Actes du colloque organisé par MARCO O. à l'ENGREF – 1-3 octobre 91 – Collection "Études" du CEMAGREF – série Montagne, n°2. pp. 59-68
- [78] MUNIER B. : Perspective historique de l'évolution des modèles de décision. GRID : Groupe de Recherche sur le Risque, l'Information et la Décision. *Modélisation mathématique pour l'évaluation et la gestion des risques* – cours de 1^{ère} année de l'ENGREF, dirigé par Éric PARENT. 23 novembre 1999.
- [79] NATURAL HAZARDS RESEARCH CENTER (NHRC) : NHQ – Natural Hazards Quarterly, Australia.
<http://www.es.mq.edu.au/NHRC/nhq1.html>
- [80] NOVEMBER V. : Comment concilier logiques du territoire et logiques du risque ? Université de Genève – Département de Géographie. *Représentation et gestion des risques urbains – Modèles organisationnels et outils d'information géographique* – séminaire : fondation MAIF, IDEES, IRESCO – Centre de formation de Marseille-Luminy. 31 janvier 2000.
- [81] OBERLIN G. : Les outils disponibles de la prévention des inondations dommageables. Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires*, numéro spécial 1995 "risques naturels" du CEMAGREF. 1995, pp. 35-50

- [82] PERRIN T. & DUCLOT C. : Regards de collectivités locales sur les objectifs et la mise en œuvre des PPR – Plans de Prévention des Risques naturels. Revue *Ingénieries – eau, agriculture, territoires* – n° spécial 1998 “risques naturels” du CEMAGREF : *Risques naturels : avalanches, crues, inondations, laves torrentielles, incendies de forêt*. 1998, pp. 37-41
- [83] PROCHASSON F. : CONCERTO : application à l'échelon intra-urbain (le quartier Plana à Toulouse). *Représentation et gestion des risques urbains – Modèles organisationnels et outils d'information géographique* – séminaire : fondation MAIF, IDEES, IRESCO – Centre de formation de Marseille-Luminy. 31 janvier 2000.
- [84] PROST T. : Avant-propos : enseignements et perspectives d'un programme de recherche. INGUL. In *Risques et réseaux techniques urbains*, sous la direction de BLANCHER Ph. Collections du Certu – volume 18. 1998, pp. 7-11
- [85] RISQUES ET TERRITOIRES : Colloque à l'ENTPE (École Nationale des Travaux Publics de l'État), organisé par l'UMR 5600 “Environnement, Ville, Société” du CNRS et le laboratoire RIVES (Recherches Interdisciplinaires Ville, Espace, Société) de l'ENTPE, du 16 au 18 mai 2001
- [86] ROCHER O. : Les risques engendrés par une concentration de réseaux urbains. APSYS : Aérospatiale Protection SYSTèmes. In *Risques et réseaux techniques urbains*, sous la direction de BLANCHER Ph. Collections du Certu – volume 18. 1998, pp. 61-70
- [87] ROUHIER C. : Les conséquences des effets des inondations. Winterthur Assurances – Département des règlements. In *Les inondations* (École Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts – promotion 1994-1996), Paris. 1997-1998, pp. 17-18
- [88] ROUQUETTE L. : “Le PC de crise de Carcassonne, au cœur de la catastrophe” – Les PPR : Plans de Prévention des Risques. Quotidien *Le Monde*. Mardi 16 novembre 99
- [89] ROUSSEL I. : La difficile territorialisation du risque lié à la pollution atmosphérique. Actes du colloque international *Risques et territoires*. ENTPE, Vaulx-en-Velin. 2001.
- [90] SANDRIN P. & BATUT J. : Réseaux fiables, réseaux vulnérables : fiabilité du réseau électrique. EDF. In *Réseaux fiables, réseaux vulnérables* – Groupe Réseaux – Compte rendu de la réunion du 24 juin 1987. Cahier n°9, septembre 1987, pp. 33-44
- [91] SITE INTERNET DE LA PRÉFECTURE DE L'AUDE : Prévention des risques majeurs dans le département de l'Aude.
<http://www.aude.pref.gouv.fr/ddrm/@@Aude00.htm>
- [92] SITE INTERNET DE LA PRÉFECTURE DE LA SARTHE : Dossier d'actualité.
<http://www.sarthe.pref.gouv.fr>
- [93] SITE INTERNET DE LA PRÉFECTURE DE MAINE-ET-LOIRE : Les risques majeurs dans le département de Maine-et-Loire.
<http://www.maine-et-loire.pref.gouv.fr/risques/index.htm>
- [94] SITE INTERNET DE LA PRÉFECTURE DU RHÔNE : Le Contrat Local de Sécurité (CLS).
http://www.rhone.pref.gouv.fr/pdsd/contrat_local_de_s%20curit%20/index.html
- [95] SITE INTERNET DE LA RÉGION BRETAGNE : Risque majeur et information préventive.
http://www.bretagne.pref.gouv.fr/ill_vilaine/RH/RH4/PLERGUER.pdf
- [96] SITE INTERNET D'INFORMATION DE TF1 : Assurances : le coût du risque. Vendredi 16 mars 2001.
<http://www.tf1.fr/news>
- [97] SITE INTERNET D'INFORMATION DE TF1 : Les préjudices liés à la marée noire évalués à six milliards de francs. Janvier 2001.
<http://www.tf1.fr/news>
- [98] SITE INTERNET D'INFORMATION DE TF1 : Le savant et le politique. Interview de J.-J. Duby.
<http://www.tf1.fr/news>
- [99] SITE INTERNET DU MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT EN EURE-ET-LOIRE : Aménagement et urbanisme – la réglementation.

- http://www.eure-et-loir.equipement.gouv.fr/Ads/D&D_fichiers/reglementation_fichiers/reglement.htm
- [100] TARDY A. : Approche systémique pour l'analyse des risques liés aux infrastructures souterraines urbaines. Centre SITE : Sciences, Information et Technologies pour l'Environnement – ENSM Saint-Étienne. *Représentation et gestion des risques urbains – Modèles organisationnels et outils d'information géographique* – séminaire : fondation MAIF, IDEES, IRESCO – Centre de formation de Marseille-Luminy. 31 janvier 2000.
- [101] TORTEROTOT J.-Ph. : Estimer le coût des dommages dus aux inondations fluviales. Service Eau et Patrimoine Naturel à la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de l'Isère. In *Les inondations* (École Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts – promotion 1994-1996), Paris. 1997-1998, pp. 12-16
- [102] TORTEROTOT J.-Ph. : Le coût des dommages dus aux inondations – Estimation & analyse des incertitudes. Thèse ENPC en Sciences et Techniques de l'Environnement. 6 octobre 1993, 288 pp. annexes
- [103] VINDIMIAN E. : Analyse du risque lié aux substances chimiques au sein des écosystèmes. INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques. *Modélisation mathématique pour l'évaluation et la gestion des risques* – cours de 1^{ère} année de l'ENGREF, dirigé par Éric PARENT. 1^{er} décembre 1999.
- [104] WALTER J. : Les friches urbaines s'avèrent difficiles à reconquérir. Revue *Géomètre*. Janvier 1998, p. 15
- [105] ZIMMERMANN E. : Risque technologique majeur : conditions de production et rôle des documents cartographiques dans le processus d'identification et de gestion. Thèse de doctorat de géographie, Université Louis Pasteur Strasbourg I, 1994.