



JEAN-LOUIS BOBIN

# Demain, quelle Terre ?

Dialogue sur l'environnement  
et la transition énergétique



**This page intentionally left blank**

# **Demain, quelle Terre ?**

---

Dialogue sur l'environnement  
et la transition énergétique

**JEAN-LOUIS BOBIN**

**edp sciences**

## Dans la même collection

*Combien pèse un nuage ?* 2<sup>e</sup> édition – Jean-Pierre Chalon  
2014, ISBN : 978-2-7598-1072-7

*L'énergie sous toutes ses formes, Tomes 1 et 2* – Jo Hermans, traduit par Pierre Manil  
2014, ISBN : 978-2-7598-0794-9 et 978-2-7598-0795-6

*La radioactivité sous surveillance* – Marc Ammerich  
2013, ISBN : 978-2-7598-0788-8

*La situation énergétique en France et dans le monde* – Société française de physique  
2012, ISBN : 978-2-7598-0742-0

*Qu'est-ce que l'énergie nucléaire ?* – Henri Safa  
2011, ISBN : 978-2-7598-0430-6

Retrouvez tous nos ouvrages et nos collections sur  
<http://laboutique.edpsciences.fr/>

Illustration de couverture : Charlotte Lambert,  
[www.charlottelambert.net](http://www.charlottelambert.net)

Mise en pages : Patrick Leleux PAO

Imprimé en France  
ISBN : 978-2-7598-1674-3

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences, 2015

## SOMMAIRE

---

<i>Avant-propos</i> .....	7
<b>Première journée</b> .....	9
<b>Deuxième journée</b> .....	33
<b>Troisième journée</b> .....	77
<b>Quatrième journée</b> .....	127

**This page intentionally left blank**

## AVANT-PROPOS

---

Énergie et environnement sont les deux partenaires d'un couple infernal. La perspective d'une pénurie de ressources et la menace d'un changement climatique induit par les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique poussent à entamer une transition énergétique difficile à définir car ses objectifs diffèrent suivant les interlocuteurs. Faut-il insister sur la décarbonisation ou sur la mise en œuvre de sources d'énergie qui se substitueront à celles que condamne l'épuisement des ressources ? Certains saisissent une occasion de remplacer les sources d'énergie qu'ils n'aiment pas par d'autres qu'ils adorent pour des raisons d'ordre idéologique. Les défenseurs de la nature voient le salut de la planète dans une forte réduction de la consommation d'énergie. Les plus extrémistes préconisent une décroissance qui serait un retour aux sources d'une humanité moins nombreuse, menant une existence frugale et en harmonie avec une nature sacralisée.

Les opinions qui s'expriment à ce sujet sont souvent tranchées et donnent lieu à des affrontements où la violence le dispute à la mauvaise foi.

Un tel débat ne pouvait laisser indifférent l'illustre citoyen de Venise, Giovan Francesco Sagredo. En d'autres temps, avec le Florentin Filippo Salviati, féru de science, ils avaient discuté face à Simplicio,

commentateur renommé des œuvres d'Aristote, des dispositions relatives de la Terre, du Soleil et des planètes<sup>1</sup> et plus récemment de la physique quantique<sup>2</sup>. Revenus parmi nous mais ayant délaissé la Vénétie et la Toscane pour les rivages du lac de Côme, Sagredo et Salviati ont rencontré un environnementaliste, Salvatore Eccoverdi, afin de confronter leurs points de vue sur les relations que les hommes entretiennent avec la nature et les enseignements qu'il convient d'en tirer afin de mener à bien une transition énergétique imposée par la conjoncture de ce début de millénaire. Chacun a des arguments à faire valoir en fonction de ses compétences : Sagredo en histoire et en économie, Salviati en sciences dures, Eccoverdi en écologie politique.

Comme lors des rencontres précédentes, les débats ont occupé quatre journées. La première était consacrée à l'environnement et à la place de l'homme dans les écosystèmes, la deuxième au climat, la troisième à l'énergie, la quatrième et dernière à l'organisation de la société ainsi qu'à la transition énergétique.

---

1. Galileo Galilei, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* (1632).

2. J.M. Jauch, *Are quanta real?* Indiana university Press (1973).

## Première journée



SAGREDO. – Mes amis, c'est un plaisir de vous recevoir dans les jardins de la villa Monastero, en lisière de la petite ville de Varenna. Nous sommes au bord du lac de Côme, loin de Venise donc. Peut-on dire dans ce cadre exceptionnel que l'espèce humaine saccage la planète comme certains l'en accusent ? Nous allons tenter de répondre à cette question, et à quelques autres, au cours de nos discussions.

Avant d'entamer celles-ci, permettez-moi de vous rappeler que nous sommes dans des lieux chargés d'histoire. Ici, s'élevait à l'origine un couvent cistercien de femmes. Outre le nom, il reste une trace de la destination religieuse des bâtiments : l'« *aula Fermi* », que nous irons visiter tout à l'heure, n'est autre qu'une ancienne chapelle réaménagée en auditorium. La propriété fut vendue au XVI<sup>e</sup> siècle à une famille qui y demeura pendant trois cents ans. La villa passa ensuite de main en main pour être, un beau jour, léguée à l'Institut italien d'hydrologie. Dans les années 1950, la Société italienne de physique en devint propriétaire et la transforma en un centre international de conférences dont la réputation a très vite franchi les montagnes et les océans. Je ne saurais trop remercier la présidence de cette société qui nous a permis de tenir nos discussions dans les jardins et dans la pièce mise gracieusement à notre disposition pour nous y réfugier en cas de mauvais temps.

J'avais aussi invité notre interlocuteur habituel Simplicio. Mais il s'est décommandé au dernier moment en raison, m'a-t-il dit, d'une obligation familiale. En réalité, je le soupçonne de ne pas se sentir à l'aise avec les thèmes que nous allons aborder. Je souhaite, en effet, que nous parlions de nos rapports avec cette Terre sur laquelle nous sommes nés et je doute qu'Aristote nous soit à ce propos d'aucun secours, encore que...

Salviati, vous êtes scientifique, je connais l'étendue de vos connaissances et je sais que vous avez une opinion sur le sujet. Eccoverdi, vous êtes membre de plusieurs organisations environnementales et vous apparaissez souvent à la télévision.

D'abord, j'aimerais que l'un et l'autre, vous précisiez ce que l'on entend exactement par les mots environnement, écologie, nature... On en parle abondamment dans les médias. Je n'en sais pas beaucoup plus et cela reste très confus dans mon esprit. À propos d'environnement, je me souviens du début d'un film de Martin Scorsese intitulé « *L'infiltré* ». Tandis que défile le générique, le réalisateur fait dire, en voix-off, à l'un de ses personnages :

*« Je ne veux pas être le produit de mon environnement, je veux produire mon environnement ».*

Il parle du cadre social, du quartier et de ses bandes qui font aussi partie, me semble-t-il, de l'environnement d'un être humain. Avec l'habitat et les circulations de proximité, n'en constituent-ils pas le premier cercle ?



ECCOVERDI. – Vous avez bien observé que l'environnement du personnage de Scorsese auquel vous faites allusion se différencie du cadre naturel. Il est en quelque sorte plaqué dessus. Cela montre à l'évidence que les hommes se sont coupés de la nature et revendiquent, à tort selon moi, cet isolement. Les écologistes, sans complètement négliger le côté humain, ont d'abord le souci de l'environnement naturel : l'air, l'eau, la terre et toute la diversité des êtres vivants.



**SAGREDO.** – Pardonnez-moi d'insister, mais où situez-vous l'un et l'autre les limites de l'environnement de l'espèce humaine ? Cette question nous concerne directement il me semble, aussi bien collectivement qu'à l'échelle individuelle.



**SALVIATI.** – Notre environnement commence au voisinage immédiat des êtres humains et s'étend jusqu'aux confins de la haute atmosphère terrestre. Cette limite n'est peut-être que provisoire. On parle depuis longtemps de coloniser la Lune (nous n'y avons fait au siècle dernier que de rares et brèves incursions) et la planète Mars. Avec les progrès des technologies spatiales, ce rêve pourrait devenir accessible plus rapidement qu'on ne le pense généralement.



**ECCOVERDI.** – Je suis d'accord sur l'étendue de notre environnement, moins sur la frontière entre nous et la nature que je situe au-delà de ce que nous construisons, encore qu'il y ait une certaine porosité.



**SALVIATI.** – Il est vrai que même si nous prenons quelques précautions, la nature s'insinue dans notre habitat. D'autant plus que nous y stockons des provisions. Moisissures, cafards, fourmis, mouches, souris... s'invitent dans nos demeures. C'est particulièrement visible à la campagne. Mais les villes ne sont pas exemptes : je connais des ports maritimes où des immeubles sont colonisés par les termites et souvent dans nos cités, l'herbe pousse entre les pavés, ajoutant à la poésie des faubourgs. Statistiquement, un être humain nourrit un rat. La remarque d'Eccoverdi sur la porosité est tout à fait pertinente.



**SAGREDO.** – Justement Eccoverdi, vous faites profession d'écologie, mais pour ce terme aussi mes idées sont brouillées. Un jour, guidé par un ami naturaliste, j'ai visité près de Naples un laboratoire d'« écologie marine ». Y aurait-il donc de la science dans l'écologie ?



**ECCOVERDI.** – Évidemment, l'écologie se fonde sur une connaissance approfondie d'une nature qu'il convient absolument de respecter.



**SALVIATI.** – J'ajouterai une précision. Le terme « écologie » a été forgé au XIX<sup>e</sup> siècle par le zoologiste allemand Ernst Haeckel pour désigner l'étude de la complexité des relations mutuelles entre les espèces qui existent dans la nature. Charles Darwin a montré que ces relations sont le fondement de la lutte pour la vie. C'est vrai pour ce qui se passe dans les profondeurs des océans comme sur terre et dans les airs. Le comportement des êtres vivants dans leur environnement occupe nombre de chercheurs sérieux qui font de l'écologie une branche éminemment respectable de l'histoire naturelle.



**SAGREDO.** – Mais alors quelle est la connexion avec les politiciens qui se revendiquent écologistes ?



**SALVIATI.** – De mon point de vue, l'écologie politique n'a que de lointains rapports avec la science. Elle reprend un discours à la Jean-Jacques Rousseau sur une nature parée de toutes les vertus. Cette idéologie facile à comprendre lui assure la faveur des médias. La protection de l'environnement est son fonds de commerce. Le vert qu'elle arbore est sa couleur fétiche. Des partis se proclament « verts » dans toutes les langues. La couleur verte et le préfixe éco sont mis à toutes les sauces : on parle d'économie verte, de croissance verte, d'écocitoyens évidemment écoresponsables... Il me semble que des mouvements politiques ont détourné le sens du mot écologie. Le terme est à la mode et des praticiens du marketing s'en servent à tort et à travers pour vendre leurs produits. On « lave plus vert que vert » par le moyen du *green washing* que j'interprète comme un habillage éco... smétique de n'importe quoi à des fins de communication.



**SAGREDO.** – Si je comprends bien, le mot écologie recouvre des notions très différentes. Au départ, c'était une science, acception qui

aujourd'hui, dans l'esprit du plus grand nombre, s'efface devant l'idéologie politique. Qu'en pensez-vous Eccoverdi ?



**ECCOVERDI.** – Je partage l'opinion de Salviati pour le marketing et la communication, mais je ne crois pas qu'en politique, il y ait détournement de sens. L'écologie dont se réclament tant d'organisations est fondée sur une perception de la vie naturelle dont nous pensons qu'elle est menacée par une espèce abusivement conquérante et prédatrice : la nôtre. Nous avons perdu le contact avec la nature. Nous vivons dans un sous-univers artificiel de villes et de voies de communication. Notre nourriture est industrielle. Nous épuisons les ressources. Nous polluons la terre, l'air et les eaux. Victimes de la technoscience, nous allons dans le mur. Il faut revenir à des pratiques plus saines et réinventer une relation harmonieuse avec la nature qui nous entoure. Je refuse de qualifier cette ambition d'idéologique. Elle n'est pas non plus guidée par un quelconque scientisme. Le progrès n'est qu'une illusion. La science et la technique posent plus de problèmes qu'elles n'apportent de solutions. Vivement un retour aux sources !



**SAGREDO.** – Vous venez de prononcer les mots : revenir et retour. On a souvent l'impression que les mouvements écologistes sont passésistes et refusent la modernité. Le passé était-il si idyllique ?



**ECCOVERDI.** – Le passé est ce qu'il est. L'espèce humaine croît en nombre. Elle évolue d'une façon qui me paraît critiquable : trop de consumérisme, trop de machines. Elle épuise les ressources naturelles. Nous, les écologistes, revendiquons une autre modernité, celle de la communion avec la Nature, alors que l'espèce humaine se fourvoie dans des impasses technologiques. Nous ne préconisons pas une marche arrière, mais le choix d'un autre chemin. L'essentiel est pour nous de cesser de massacrer la planète Terre !



SAGREDO. – Nous sommes ici dans le jardin de la villa Monastero au milieu d'un paysage enchanteur. Les hommes me semble-t-il y ont harmonieusement intégré leur habitat. Le calme règne sur les eaux du lac au pied de cette terrasse. Je trouve ce spectacle satisfaisant pour le regard et l'esprit.



ECCOVERDI. – Oui, mais le calme ne dure guère. Entendez-vous ce vacarme ? d'où vient-il ? Ah ! je vois... c'est un canot à moteur là-bas qui fonce à toute allure en déjaugant. Regardez la vague de sillage : elle va venir jusqu'ici éroder la rive. Et pensez à la route qui à mi-pente au-dessus de nous longe le mur de ce domaine. Nous ne pouvons la voir, mais elle est encombrée de voitures et de poids lourds dont les moteurs relâchent du dioxyde de carbone et d'innombrables substances plus malsaines les unes que les autres.



SALVIATI. – Je conçois que les moteurs vous déplaisent. Moi-même je préfère d'autres moyens pour se déplacer sur l'eau. D'ailleurs, on pratique aussi la voile sur le lac. La première fois que j'ai fréquenté ces lieux, j'étais un jeune étudiant venu participer, rare privilège, à l'une des premières sessions de la prestigieuse École d'Été qui s'y tient chaque année. Plusieurs fois à la pause, nous avons pu, d'ici, assister à des régates de « stars ». Le Soleil faisait chatoyer les voiles ornées de leur étoile rouge. Inoubliable !



ECCOVERDI. – Votre exemple est bien mal choisi. Pourquoi des régates ? Pourquoi cet inutile et stupide esprit de compétition ? Pourquoi vouloir à tout prix être le plus rapide, le meilleur, le plus fort ? Il ne peut en sortir que vanité satisfaite et frustrations en tout genre. Cela dit, je vous concède que la voile est un bel exemple d'une juste maîtrise des forces de la nature. Le vent souffle partout. Que ne l'utilisons-nous plus souvent !



SAGREDO. – « *Le vent souffle où il lui plaît* » dit l'Évangile « *vous en entendez le sifflement mais ne pouvez dire quand il va se lever ni quand il va tomber !* »

Tous les navigateurs à la voile connaissent l'ennui crispant des calmes et l'affrontement musclé des coups de vent. Pris dans ces extrêmes, les marins subissent et savent le plus souvent réagir. Mais je pense que nous nous égarons. Est-il bien nécessaire de nous attarder sur les aléas de la marine à voiles ? Si la mer et le vent font bien partie de la nature, il me semble qu'ils ne sont pas au centre de la pensée des politiciens qui se proclament écologistes et n'ont, d'après vous Salviati, que des rapports lointains avec la science appelée écologie. Eccoverti, vous avez parlé de vivre en harmonie avec la nature. Canots à moteurs mis à part, je vois de l'harmonie autour de nous sur ces rives du lac de Côme. Quelle est donc la différence ?



ECCOVERTI. – L'artifice. Tout ici a été aménagé par l'homme, et j'ajouterai l'homme riche, à son usage : les forêts, les rares cultures, des propriétés somptueuses et leurs jardins en terrasses, les embarcadères... Domestiquer la nature, fut-ce pour le plaisir des yeux, n'est pas une solution. Comme vous, je vois ici de l'ordre mais est-ce un ordre naturel et juste ? Vous me permettez d'en douter. Je ne pense pas que l'environnement primitif ait été respecté. Et d'ailleurs nous serions bien en peine de dire en quoi il consistait. Des millénaires de présence humaine en ont fait disparaître les vestiges. Les mouvements écologistes ont pour ambition de recréer un lien fort entre notre espèce et la planète. Il convient aussi de réparer autant que faire se peut les dégâts que nous avons provoqués.



SALVIATI. – Il est vrai que, précédant de quelques milliers d'années, la réflexion du personnage de Scorsese évoqué tout à l'heure par Sagredo, l'espèce humaine dans son ensemble a construit son environnement. Elle n'est pas seule dans ce cas : les insectes sociaux l'ont largement devancée. Font de même les oiseaux, de façon provisoire avec leurs nids, et de petits mammifères qui creusent des terriers. Sans oublier les castors avec leur façon si particulière de travailler à l'édification de barrages !

Les chasseurs-cueilleurs de la Préhistoire ont commencé par habiter des grottes. Elles protègent un peu de la chaleur et du froid. Elles mettent à l'abri de la pluie mais rarement de l'humidité. La révolution néolithique, 10 000 ans avant notre ère, a tout changé. Les hommes se sont mis à défricher pour cultiver la terre. Avec le bois coupé, devenu disponible, ils ont élevé des huttes et des cabanes à proximité de leurs champs.



ECCOVERDI. – Je prolongerai votre propos, Salviati, en disant que la sédentarisation s'est accompagnée d'une altération locale de l'environnement naturel. Il se pourrait même que l'influence de ce changement de comportement de l'espèce humaine soit allée au-delà de l'habitat des premiers agriculteurs. Un chercheur américain, William Ruddiman, avance une hypothèse selon laquelle l'agriculture du néolithique a eu pour effet, déjà ! d'augmenter les concentrations de gaz à effet de serre, permettant ainsi de compenser le refroidissement qu'aurait entraîné la décroissance, prouvée, de l'ensoleillement pendant cette période.



SALVIATI. – Je précise que la communauté scientifique est loin d'adhérer massivement à cette idée.



ECCOVERDI. – En revanche, les extrémistes de l'« écologie profonde » vont plus loin et voient dans les débuts de l'agriculture l'amorce d'une catastrophe planétaire qui dure en s'amplifiant jusqu'à nos jours. En 2008, le prix de la revue britannique *The Ecologist* a été décerné à un auteur qui a développé ce thème. Je ne serai pas aussi catégorique. Mais je note que les coins de terre restés à l'état de nature sont rares. Tout près d'ici, le « Fiume latte<sup>1</sup> » en est peut-être un exemple. Encore heureux qu'on ne l'ait pas canalisé pour installer une usine hydro-électrique !

1. Littéralement : fleuve de lait. Il s'agit d'un torrent écumant qui se jette dans le lac de Côme près de Varenna.



**SAGREDO.** – D'après vous, le « Fiume latte » fait partie de notre environnement naturel et il a eu la chance d'être respecté. Ne peut-on pas en dire autant de cet admirable lac de Côme dans son ensemble ?



**ECCOVERDI.** – J'ai déjà dit ce que je pense de l'aménagement de ses rives escarpés. Quant à ses eaux, il conviendrait de vérifier que des substances polluantes n'y ont pas été déversées en abondance et qu'un équilibre écologique se maintient entre les différentes espèces aquatiques qui le peuplent, sans surpêche ni introduction d'une faune allogène. Cela fait beaucoup de conditions...



**SAGREDO.** – Équilibre écologique, avez-vous dit. Nous revenons donc à la science...



**SALVIATI.** – Tout à fait : des chercheurs étudient l'évolution des populations de différentes espèces sur un même territoire. Plantes et bêtes ont besoin de se nourrir pour vivre. Tout le règne animal, tout le règne végétal sont engagés dans une impitoyable lutte pour la vie. Imaginez une espèce carnivore qui mange une autre espèce, herbivore celle-là. La population de prédateurs peut se développer si les proies sont en quantité suffisante. Dans un régime permanent, les populations des uns et des autres restent constantes à de menus écarts près. Cela se produit assez rarement car si des prédateurs bien nourris commencent à proliférer un peu trop, le stock des proies potentielles va décroître plus vite qu'elles ne peuvent se reproduire. Les prédateurs vont mourir de faim ou s'entretuer et progressivement disparaître, ce qui laisse aux proies la possibilité de se refaire une santé, circonstance favorable à une augmentation du nombre de prédateurs et le cycle recommence. Il existe des modèles mathématiques pour décrire ces processus. Le cas particulier dont je viens de parler est simple, le modèle aussi. La situation se complique avec les systèmes réels qui englobent un très grand nombre d'espèces animales et végétales. Ils sont, de plus, ouverts comme est ouvert le système prédateur proie si

l'on tient compte d'un élément extérieur : les végétaux dont se nourrissent les proies. Une sécheresse et il faut modifier le modèle pour rendre compte de la situation nouvelle : herbages, proies et prédateurs, tous vont souffrir !



**ECCOVERDI.** – Je n'aime pas beaucoup les modèles mathématiques, représentations desséchées et réductrices d'une réalité beaucoup plus riche et dont je ne suis pas certain qu'elle soit quantifiable. Comment peut-on chiffrer la beauté d'un paysage ou l'infinie diversité que nous offrent les espèces vivantes ?



**SAGREDO.** – J'entrevois une contradiction dans ce que vous venez de dire. Vous réprochez les chiffrages soit, mais qui décide de la beauté à part des hommes selon des critères qui leur appartiennent ? J'ai gardé le souvenir d'une tempête qui sur son passage avait déraciné les arbres d'une forêt. Devant l'étendue du désastre, les hommes ont tardé à intervenir. Pendant des années, on a vu des plantes pousser n'importe comment dans un désordre complet. Je crains que nous ne trouvions pas notre compte dans le foisonnement anarchique d'une nature abandonnée à elle-même. Pour ma part, j'ai tendance à souscrire à cette affirmation d'un peintre français du XX<sup>e</sup> siècle, Jacques Villon, que je transpose légèrement pour la gloire de notre incomparable « quattrocento » :

« *La nature ordonnance bien, mais Piero della Francesca construit mieux.* »

Vous pouvez remplacer della Francesca par tel nom qu'il vous plaira de citer dans la mesure où l'œuvre contient de la perspective. Nos artistes nous ont légué une notion du beau qui inclut de l'ordre et des règles apportés par l'homme. Le célèbre critique d'art Bernard Berenson, revisitant la Sicile vers la fin de sa vie, dans les années 1950, écrivait à propos du temple de Ségeste :

[il] « *demeure un témoignage de raison, d'ordre, d'intelligence au milieu du chaos, de l'indifférence et de l'anarchie de la nature.* »



**ECCOVERDI.** – Je suis en complet désaccord avec ce genre de réflexions. Pour ma part, je veux trouver ma place au milieu d'une nature laissée libre de se développer à sa guise. Si la diversité conduit à ce que vous appelez l'anarchie, quelle importance ?



**SAGREDO.** – Mais vous avez parlé de beauté. À ce sujet, il me revient une autre pensée due au philosophe David Hume :

*« La beauté n'est pas une qualité inhérente aux choses elles-mêmes, elle existe seulement dans l'esprit qui la contemple, et chaque esprit perçoit une beauté différente. »*



**SALVIATI.** – Cette idée me semble parmi les mieux partagées. En 1930, le grand poète indien Rabindranath Tagore rendit visite à Einstein dans sa maison de campagne près de Berlin. Leur conversation a été enregistrée, puis traduite et publiée. On y relève ce passage que je rapporte à peu près :

Question d'Einstein : *« Alors la beauté n'est pas indépendante de l'homme ? – Non, répondit Tagore – Donc en l'absence d'êtres humains, l'Apollon du Belvédère perdrait sa beauté ? – Oui – Je partage cette conception de la beauté, mais je n'accepte pas qu'une telle subjectivité s'applique à la vérité. »*



**SAGREDO.** – Ainsi les savants et les poètes rejoignent les philosophes. Que la beauté soit subjective est une évidence. Dans un grand nombre de cas comme pour le paysage que nous avons sous les yeux, elle peut cependant faire l'objet d'un consensus. Mais dites-moi, Eccoverdi, quelle est donc l'harmonie dont vous rêvez ? un fouillis végétal avec une faune qui s'est installée sans autre contrôle que les cycles prédateur-proie dont a parlé Salviati ? des êtres vivants qui s'entredévorent avec pour seule loi celle de la jungle ?



**ECCOVERDI.** – D'abord, je trouve particulièrement malencontreux l'exemple proposé par Einstein. L'Apollon du Belvédère est la

représentation d'un homme divinisé, façonnée par le ciseau d'un autre homme dont je veux bien admettre que c'était un grand artiste. Que l'espèce humaine valorise et admire son image, cela se conçoit et ne mène à rien quant à la question qui nous occupe. Pour ce qui est des paysages, je maintiens qu'il ne nous appartient pas de juger et que l'ordre naturel est du ressort de cette vérité objective que préconisait Einstein en matière scientifique. Un tel ordre doit être notre référence. La beauté n'a rien à faire dans ce débat, le jugement humain, fut-il de Pâris, non plus. Vouloir en tenir compte est entrer dans une démarche de domination de la nature. Ce n'est pas la mienne. Quand je parle d'harmonie, je me réfère à la seule nature. Si vous y trouvez de la beauté, tant mieux, sinon tant pis ! Moi, je la prends telle qu'elle est. L'ordre naturel est régi par les lois intangibles de la cohabitation entre les espèces, chacune ne détruisant des autres que la quantité nécessaire à sa subsistance. Seule l'espèce humaine massacre pour le plaisir et altère gravement son environnement.

Le jardin où nous sommes est somptueux, je vous l'accorde, mais il n'a rien de naturel. Je note à propos des jardins qu'à diverses époques, on a prôné un certain retour à la nature. Au siècle des lumières, on a préféré la souplesse du dessin des parcs à l'anglaise à la stricte ordonnance géométrique, rien moins que naturelle vous en conviendrez, des parterres à la française. De nos jours, et l'influence des mouvements écologistes n'y est sans doute pas étrangère, la tendance est de gamir les massifs de façon à évoquer cette anarchie de la nature que vous aviez l'air de déplorer à l'instant. Pour ma part, je m'en réjouis, même si cela reste une création de jardiniers.



**SAGREDO.** – J'ai l'impression que le sujet de notre conversation oscille sans cesse entre nature et environnement. À vous entendre, je n'arrive pas à discerner si ces deux notions se confondent ou non.



**SALVIATI.** – Je pense qu'elles sont en effet assez différentes, question de point de vue et d'échelles. Depuis qu'ils ont quitté les cavernes,

l'environnement des êtres humains est artificiel, nous l'avons déjà remarqué. Il s'inscrit dans la nature, mais la nature n'est pas qu'environnement. Le noyau d'un atome fait tout autant partie de la nature au sens large que les fleurs de ce jardin ou qu'un amas de galaxies. La nature ne s'arrête pas à la surface des choses et des êtres vivants. La physique et la chimie font partie des sciences naturelles. Une particule subatomique est tout aussi naturelle que la feuille d'un arbre. Vous ne semblez pas d'accord, Eccoverdi...



**ECCOVERDI.** – Non, et pour deux raisons. D'abord, comme je l'ai déjà dit, l'important c'est l'environnement naturel. Ensuite, la physique et la chimie sont peut-être des sciences respectables, mais je déplore l'usage qui en est fait et qui conduit à la destruction de la nature. J'en dirai autant de certaines parties de la biologie.

Je sais comme vous que d'après la cosmologie du « *big-bang* », les objets subatomiques ont joué un grand rôle au commencement de notre univers. Je n'ignore pas qu'au cœur des étoiles, des réactions nucléaires fournissent l'énergie qui permet à ces astres de rayonner. Tout cela est bien loin dans le temps ou bien loin dans l'espace. Je ne vois rien de tel dans notre environnement terrestre et je regrette qu'on ait voulu implanter là ce qui n'a rien à y faire. Mais ceci est une autre question sur laquelle nous reviendrons, je l'espère.

Pour s'en tenir à la nature, elle est vaste, j'en suis bien conscient. Vous semblez prêts à me reprocher une vision environnementale donc restreinte. J'assume car dans mon quotidien, je m'intéresse d'abord aux êtres vivants et aux milieux au sein desquels ils mènent leur existence, ce que l'on appelle les écosystèmes. Il en existe de toutes sortes : ils sont plus ou moins étendus, plus ou moins peuplés d'un nombre variable mais *a priori* assez grand d'espèces de façon à garantir un minimum de biodiversité. Les écosystèmes commencent avec les plus petits des êtres vivants, les virus d'après ce que j'en sais. Et ils ne sont pas limités à la végétation et à la faune : la terre, les roches, les eaux, l'atmosphère en font partie. J'allais oublier le

rayonnement solaire sans lequel il n'y aurait pas de vie. Bien qu'ils soient ouverts au sens d'avoir des échanges avec l'extérieur, je conçois les écosystèmes comme autosuffisants et capables de survivre : les générations passent, l'écosystème reste, même si comme tout être vivant, il peut évoluer.



**SALVIATI.** – La pérennité que vous attribuez aux écosystèmes me rappelle, mutatis mutandis, celle que le naturaliste anglais Richard Dawkins assigne aux gènes qui se transmettent de génération en génération. Les écosystèmes sont à l'extérieur, les gènes au plus profond des êtres vivants. Les deux apparaissent indispensables à la vie telle que nous la connaissons. Au passage, vous avez parlé du rayonnement solaire qui procure l'énergie nécessaire et sans quoi ni écosystèmes ni gènes pourraient se perpétuer. Incluriez-vous, dans votre inventaire, le rayonnement cosmique qui nous bombarde en permanence de particules subatomiques ou les « rayons » produits par la radioactivité naturelle ?



**ECCOVERDI.** – Je ne pense pas qu'ils jouent un très grand rôle dans la dynamique des écosystèmes sauf s'il apparaît des concentrations mortelles de radioactivité. Mais celles-ci ne sont pas le fait de la nature mais des hommes.



**SAGREDO.** – J'aimerais que nous reportions à plus tard la discussion sur ce sujet scabreux et que nous revenions à nos éco... moutons. Si je vous comprends bien, l'environnement naturel d'un être vivant est un écosystème plus ou moins isolé qui bénéficie d'une certaine autonomie. Deux questions me viennent à l'esprit : existe-t-il une taille minimale ? et combien faut-il d'espèces ?



**ECCOVERDI.** – Un étang au milieu d'une forêt par exemple est un tout petit écosystème qui peut se maintenir longtemps. Je ne saurais dire combien d'espèces il peut contenir. Cela va des bactéries aux

grenouilles en passant par toutes sortes d'insectes. Comme chacun sait, un unique marigot africain ne peut contenir qu'un seul crocodile comme prédateur suprême.

Pendant des milliards d'années, l'écosystème terrestre a été peuplé uniquement des êtres unicellulaires du précambrien. Les naturalistes estiment que l'évolution vers la biodiversité que nous connaissons actuellement a commencé il y a environ 650 millions d'années. La diversité aujourd'hui menacée ne réside pas seulement dans la multiplication des espèces. Des écosystèmes très différents les uns des autres ont pu se développer dans des régions distinctes de la planète.

L'Australie, certaines contrées d'Amérique latine, Madagascar, les îles des mers du Sud... sont longtemps restées à l'écart du reste du Monde. Des écosystèmes particuliers ont pu s'y développer avec des flores et des faunes tout à fait originales : kangourous, koalas, sarigues ou encore makis en sont la preuve vivante.

Vous savez, je suppose, que la Polynésie a été peuplée tardivement, sans doute vers le commencement de l'ère chrétienne. Les maoris qui ont envahi les îles du Pacifique sud y ont apporté leurs cochons et leurs chiens. Ces animaux ne faisaient pas partie de la faune autochtone. Les serpents non plus, qui y sont toujours inconnus...



**SAGREDO.** – Un esprit à la fois facétieux et porté sur la religion pourrait en déduire que le paradis terrestre était nécessairement ailleurs.



**SALVIATI.** – Les paléanthropologues sont de cet avis qui situent l'origine de l'homme en Afrique de l'Est.



**SAGREDO.** – Fermons si vous le voulez bien cette parenthèse. Vous avez cité des écosystèmes de tailles très dissemblables. Cela ne nous renseigne pas sur le minimum d'espace et le nombre minimum d'espèces à réunir pour constituer un écosystème viable.



**SALVIATI.** – La question n'est pas simple. On a découvert récemment sous la calotte de glace antarctique un écosystème microbien spécifique. Dans un tout autre domaine, peut-être avez-vous entendu parler de l'expérience « Biosphère 2 » qui s'est déroulée en Arizona au début des années 1990 ?



**ECCOVERDI.** – Oui bien sûr. Tous les écologistes connaissent cette aventure aux résultats controversés. Il s'agissait de créer, dans une espèce de grande serre, un habitat et un environnement permettant à un équipage de huit personnes de vivre pendant deux ans complètement isolés du reste du monde, à part une liaison téléphonique avec l'extérieur. Le seul apport venu d'ailleurs devait être la lumière solaire.



**SAGREDO.** – Mais d'où vient ce nom de Biosphère 2 ?



**ECCOVERDI.** – Du fait que son écosystème était au départ indépendant et complètement séparé de celui de la Terre. Celle-ci, en hommage à son ancienneté, était rebaptisée Biosphère 1... Quant à la deuxième du nom, elle comprenait une grande cloche et des serres recouvrant à peu près un hectare et demi où sept écosystèmes étaient reconstitués à partir d'éléments naturels : une forêt tropicale, un « océan » (contenant un récif corallien), deux marais l'un d'eau douce, l'autre d'eau salée, une savane, un désert, enfin une zone d'agriculture intensive accolée aux quartiers d'habitation. Il y avait évidemment un système de recyclage de l'atmosphère. 3 800 espèces animales et végétales peuplaient cette structure.



**SAGREDO.** – En somme, c'était une variante moderne de l'arche de Noé avec des plantes en plus et des espèces animales en moins. Il est vrai que l'objectif n'était pas le même. Mais dites-moi, une telle opération a dû coûter une fortune au gouvernement américain ?



**SALVIATI.** – Non, et pourtant l'expérience aurait pu s'inscrire dans le cadre de programmes de la NASA pour étudier les conditions de

survie dans une perspective de colonisation de l'espace. Seulement l'initiative ne venait pas de scientifiques ayant pignon sur rue mais de militants de la mouvance écologiste.



**ECCOVERDI.** – Militants certes, mais pas dans le sens politique. Il s'agissait plutôt de tenants d'une vision holiste d'une nature qui tend à constituer des ensembles supérieurs à la somme de toutes leurs parties. Les écosystèmes en sont un exemple. Une conception holiste s'oppose évidemment au réductionnisme qui caractérise trop souvent la science officielle et ses grands organismes de recherches.

Comment pensez-vous que soit reçu par une agence gouvernementale un individu inclassable, à la fois ingénieur métallurgiste, poète et passionné d'écologie ? John Allen, le véritable initiateur de Biosphère 2, est tout cela. Il a vite compris l'inanité de ses démarches auprès des bailleurs de fonds institutionnels. À la fin des années 1980, il avait créé *Space Biosphere Ventures*, une compagnie privée, en vue de construire la serre et de réaliser l'expérience. Il fallait d'abord lever des fonds, et en quantité importante, pour faire vivre le projet. Fort heureusement pour une telle entreprise, il s'est trouvé un mécène. Enthousiasmé par cette initiative, le milliardaire texan Edward P. Bass a mis 200 millions de dollars au pot.



**SALVIATI.** – John Allen est une personnalité assez sulfureuse. Certains sont séduits par son charisme et la diversité de ses talents. D'autres le considèrent au mieux comme un charlatan, au pire comme le gourou d'une secte d'illuminés. Il avait fondé, avec l'argent de Bass, un « *Institute of Ecotechnics* » qui lui permettait de délivrer des diplômes bidon à ses épigones. Rien que pour ce fait, on peut douter de ses qualités humaines. Toujours est-il que Biosphère 2 a été un fiasco.



**ECCOVERDI.** – Pas complètement. Je soutiens au contraire que l'expérience a été riche d'enseignements du moins dans un premier essai. De 1991 à 1993, huit volontaires ont vécu en ermites dans la biosphère

en mangeant les bananes et les pommes de terre qui poussaient sans problème. Ils ont dû surmonter des difficultés de tous ordres. Le taux d'oxygène baissait inexorablement, faute d'une photosynthèse suffisante, tandis que s'élevait celui du dioxyde de carbone. Il a fallu renouveler l'atmosphère depuis l'extérieur. Bactéries et insectes se sont mis à proliférer. Mais cet équipage a tenu les deux ans, ce que je considère comme une remarquable performance.

Une seconde tentative en 1994, sous l'égide de l'université Columbia, a été beaucoup plus courte car les relations entre personnes se sont rapidement dégradées. Il est difficile d'en tirer des enseignements



**SALVIATI.** – Je reconnais les mérites de ceux qui ont joué les cobayes et, pour la première équipe, ont mis leur santé en danger car ils sont sortis de là dans une piètre condition physique. Les promoteurs de cette expérience visaient un état stationnaire dans un écosystème restreint. Cela suppose un équilibre des flux dont tout laisse à penser que les éléments avaient été mal évalués. L'écosystème artificiel de Biosphère 2 était hors d'équilibre. Il a, me semble-t-il, échappé au contrôle des opérateurs qui ont été contraints de recourir à l'extérieur pour s'en sortir. La crédibilité du projet en a été durablement affectée.



**ECCOVERDI.** – Il reste le souvenir d'une belle aventure écologique. Installer dans un lieu clos une flore et une faune dont des êtres humains, en espérant maintenir un équilibre, était une entreprise sans doute bien trop ambitieuse et peut-être prématurée par rapport à l'état de nos connaissances sur des écosystèmes dont la complexité défie nos capacités. Cela ne veut pas dire qu'il ne sera pas possible de réussir dans l'avenir.



**SALVIATI.** – Acceptons en l'augure. Mais sur ce point, je suis d'accord avec vous : Biosphère 2 a surtout montré à quel point l'écologie expérimentale est une science encore dans l'enfance.

Il existe pourtant des cas où l'on sait provoquer la reconstitution d'écosystèmes, à l'image de ce que fait la nature. Cela se passe sous la mer. En coulant un vieux rafirot pourri, une épave plus ou moins disloquée va reposer sur le fond. Des algues, des mollusques s'y accrochent, puis des poissons y trouvent refuge. Et toute une vie s'installe en quelques années autour des débris de ferraille ou de charpente. C'est efficace même si, d'un point de vue écologiste, cela ne doit pas sembler tout à fait naturel.



**ECCOVERDI.** – Détrompez-vous. Dans de telles circonstances, l'homme n'est qu'un simple initiateur, souvent involontaire. La nature reprend vite ses droits, se charge de l'essentiel, et un équilibre écologique est spontanément atteint sans que l'homme intervienne. Pensez aussi à ce qui se passe dans un hôpital flambant neuf. Tout y a été aseptisé. Et pourtant des patients y sont victimes d'infections nosocomiales. Cela veut dire qu'un écosystème bactérien s'est mis en place subrepticement.



**SAGREDO.** – Je retiens de ces échanges que nous demeurons très loin de pouvoir réaliser des lieux de vie autonomes qui pourraient servir dans l'espace ou sur la planète Mars. Vous avez l'un et l'autre parlé du passé. Qu'est-il advenu de Biosphère 2 ?



**ECCOVERDI.** – L'installation existe toujours. En plus d'être un but d'excursion pour touristes, elle sert de support d'expérimentation pour l'université d'Arizona. Ses différents écosystèmes sont autant de laboratoires où travaillent des chercheurs professionnels. Finis l'esprit pionnier et l'audace inventive ! La routine de la science officielle a pris le dessus et envahi le site.



**SAGREDO.** – Cette histoire est fort instructive. Elle met en évidence la difficulté pour l'homme de choisir et d'assembler les éléments d'un écosystème autosuffisant. À mes questions sur le nombre d'espèces et

l'étendue d'un écosystème viable, votre science d'aujourd'hui n'apporte, si j'ai bien compris, que de vagues réponses. Il n'y a rien d'autre à faire que d'accepter de rester dans le flou en attendant des jours meilleurs qui seront peut-être lents à venir.

Puisque nous sortons d'une discussion sur les écosystèmes, il me vient une autre question : en existe-t-il qui soient spécifiquement favorables à l'humanité ? Il me semble *a priori* que par leur aptitude à s'adapter aux climats les plus rudes comme aux terrains les plus variés, les hommes ne sont pas attachés à un écosystème particulier. Ou peut-être ne le sont-ils plus en raison de la dissémination de l'espèce à partir de son lieu de naissance dans les savanes de l'Est africain ?



**SALVIATI.** – Il y a sans doute d'autres raisons. Beaucoup d'espèces ne peuvent se nourrir que d'un nombre réduit de végétaux ou d'animaux. Pensez au grand panda et à ses bambous. Ce n'est pas le cas de l'homme, créature omnivore. Où qu'il aille, il peut trouver à manger. Racines, plantes, fruits, animaux terrestres, oiseaux, poissons et fruits de mer... il a tout essayé. Avec l'agriculture et l'élevage, il a sélectionné les espèces les mieux à même de composer sa nourriture. Et, avec le feu, il a inventé la cuisson et changé la saveur des aliments pour les adapter à ses préférences. Autre facteur important à mon sens, l'homme n'a pas de fourrure et a dû recouvrir son corps de peaux ou de tissus pour se protéger du froid. Ayant appris à faire la cuisine et à se vêtir, les coureurs de savane étaient armés pour envahir tous les coins de la Terre : d'abord les régions chaudes de l'Asie méridionale et le tour à peine moins chaud de la Méditerranée orientale. Puis, progressivement l'homme a étendu son territoire jusqu'à occuper tous les continents et au-delà, les îles qui pouvaient fournir un ravitaillement suffisant.



**ECCOVERDI.** – Et ce faisant, il a sinon détruit du moins sérieusement altéré l'environnement naturel dans tous les endroits où il s'est

installé, parfois même là où il ne fait que passer. Est-il vraiment nécessaire d'équiper de cordes fixes les arêtes terminales du Cervin ou pire, de l'Everest ? Je suis révolté quand je vois l'état du col Sud, voie normale d'accès à ce « toit du monde », transformé en dépôt. C'est indigne, comme il est indigne de détruire la forêt pour la remplacer par des cultures intensives ou pire par des lotissements avec des autoroutes pour y accéder. Il faut absolument préserver les forêts tropicales, et maintenir propre notre planète.



**SALVIATI.** – Je vous ferai remarquer que dans la forêt vierge, on ne trouve ni poubelles, ni toilettes, ni cimetières. La nature sur ce point serait-elle en défaut ?



**ECCOVERDI.** – La propreté comme la beauté relève de la subjectivité. Propre pour moi veut dire : débarrassé des déjections de l'espèce humaine, c'est-à-dire du contenu de nos poubelles et des déchets industriels dont les déchets radioactifs. Nous devrions généraliser le recyclage à l'exemple de la nature. Vous n'êtes pas sans savoir qu'elle ne fait pas de déchets. Elle recycle beaucoup. Les excréments des animaux fertilisent les sols dont se nourrissent les plantes que mangent les herbivores, eux-mêmes au menu de carnivores dont les cadavres nourrissent d'autres espèces. La boucle ainsi se referme. De sorte qu'à la longue, le résultat est différent de celui d'une intrusion des hommes qui s'accompagne d'effets pervers. Lorsque l'on met en place des poubelles, des petits et des gros malins, comme les renards et les ours, viennent y fouiller. Des sangliers se sont installés en plein Berlin. Des renards ont fait de même dans certaines villes anglaises. Je vous accorde que les animaux ont d'étonnantes facultés d'adaptation, mais il n'est pas bon de les attirer vers des comportements peu naturels. D'ailleurs, dans le parc national du Yosemite, en Californie, on a pris des mesures : il est strictement interdit de donner de la nourriture aux animaux sauvages et les poubelles sont conçues de telle manière que les ours ne puissent avoir accès à leur contenu. C'est

une façon de les obliger à subsister par eux-mêmes sans dépendre des hommes.

Quant à notre espèce, elle n'a rien à faire dans des sites que leur altitude rend impropres à toute forme de vie. J'ai du mal à comprendre ce qui pousse autant d'alpinistes à risquer leur vie et celle des autres pour inscrire tel ou tel sommet rocailleux et enneigé au tableau de leurs escalades alors qu'il existe tant d'endroits où la nature se montre douce et accueillante.



**SAGREDO.** – La douceur me fait penser à certains écologistes, je ne parle pas pour vous Eccoverdi, qui font de la nature une divinité tutélaire. Ils me donnent l'impression de ne la voir qu'à travers les films de Walt Disney complétés par le souvenir de cette reine de France, Marie-Antoinette qui, vers la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, nouait des rubans dans la toison de ses moutons en jouant à la bergère dans le parc de Versailles.



**SALVIATI.** – Je ne connaissais pas l'histoire de cette reine, à part sa fin tragique, mais je trouve aussi que les studios Disney nous font voir une nature totalement fantaisiste. Les plantes ne poussent pas n'importe comment, à croire qu'un jardinier est passé par là. La forêt est accueillante. La biodiversité y est fortement réduite. Les chiens ne marquent pas leur territoire comme ils ont l'habitude de le faire dans la réalité. Et d'une façon générale, les animaux sont gentils à part quelques prédateurs qui seront punis de leur méchanceté.



**ECCOVERDI.** – Quant à moi je reproche surtout à l'univers de Walt Disney d'être trop anthropocentrique. Comme dans les fables, les animaux et les plantes ne sont que des déguisements qui dissimulent des êtres humains. C'est écologiquement incorrect.



**SAGREDO.** – L'idée d'une nature idyllique n'est pas nouvelle. Paradoxalement, le concept d'une nature foncièrement bonne est

apparu chez ceux que les premiers efforts technologiques de la modernité commençaient de mettre à l'abri du froid, de la disette et des épidémies. Au XVIII<sup>e</sup> siècle, certains membres d'une bourgeoisie très instruite, on ne les appelait pas encore intellectuels, s'étaient mis à fantasmer. Les habitants des villes avaient et ont toujours une vision très idéalisée d'une nature vierge de toute intrusion humaine. À l'époque, on ne l'imaginait pas autrement que luxuriante.

Je pense à un récit, reportage avant la lettre, écrit par un digne fils des lumières nommé Dominique Vivant-Denon. C'était un Français du genre touche à tout. Il s'est fait connaître comme dessinateur, écrivain quelque peu libertin et diplomate à l'occasion. Il avait accompagné le général Bonaparte lors de l'expédition d'Égypte en 1798. Dans son *Voyage dans la haute et la basse Égypte*, il nous a fait part de sa stupeur en découvrant le rivage à l'ouest d'Alexandrie. J'ai retenu ce passage :

*« Ce n'est pas seulement la nature attristée, mais la destruction de la nature, mais le silence et la mort. »*

Cette côte ingrate et basse, longée par des dunes de modeste hauteur blanchies par le Soleil, ne lui paraissait pas naturelle avec sa végétation clairsemée.



ECCOVERDI. – Êtes-vous certain de l'absence d'intervention humaine dans la formation de ce paysage qui avait tant déçu Vivant-Denon ? cet auteur parle de destruction de la nature et peut-être ne croyait-il pas si bien dire. En bâtissant Alexandrie autour d'un port artificiel, les hommes de l'Antiquité n'auraient-ils pas amorcé en ces lieux une catastrophe écologique ? l'épuisement des ressources agricoles par une population trop nombreuse, les invasions, les guerres qui se sont succédées sur ce territoire pendant des millénaires sont autant de contributions à la désertification. Je souscris pour ma part totalement à ce constat d'un autre Français, François-René de Chateaubriand :

*« Les forêts précèdent les peuples, les déserts les suivent ».*

Et pour en revenir à la côte égyptienne, aujourd'hui c'est pire ! j'ai pu m'en rendre compte lors d'un récent périple, effectué il est vrai avant le « Printemps arabe ». En voulant satisfaire les envies de plage des riches caiotes et des troupes de touristes venus de toute l'Europe, d'Amérique et bientôt de la Chine, on est en train de bétonner ce bord de mer sur des dizaines de kilomètres. Les hôtels trois étoiles alternent avec les résidences de standing. On se croirait sur la côte Adriatique. C'est désastre sur désastre !



**SAGREDO.** – Nous voici revenus à l'influence de l'espèce humaine sur ce que vous, Ecoverdi, appelez l'environnement naturel et selon vous, elle ne peut être que néfaste. Nous avons construit des villes et des routes, cultivé la terre, modifié des paysages... Les scientifiques nous disent que la composition de l'atmosphère est en train de changer. Quelles seront les conséquences de tout cela ? Ce sera, si vous le voulez bien, le thème de notre prochaine discussion. Pour la suite de cette journée, je vous propose une visite de la villa. Elle en vaut la peine.

## Deuxième journée



SAGREDO. – J'ai retenu de notre conversation d'hier que pour construire son environnement l'homme a empiété largement sur la nature, celle-ci devant être comprise selon Eccoverdi, comme ce qui existe et vit en dehors de notre espèce. Les sociétés civilisées se sont développées et continuent de le faire en exploitant des ressources de la Terre. Règne végétal, règne animal, règne minéral, tous sont mis à contribution. Eccoverdi, vous proclamez que cette situation n'est pas durable. Pouvez-vous en expliquer les raisons ?



ECCOVERDI. – Je vais faire l'impasse sur les données techniques et les chiffres relatifs à l'épuisement des ressources. Cette partie du problème est plutôt du ressort de Salviati, et puis je n'aime pas trop les chiffres. J'insisterai plutôt sur l'inconséquence généralisée de notre espèce. Elle commence avec l'accroissement indéfini de la population. Comment nourrir tout ce monde ? et si le développement légitime dans les pays pauvres, moins chez les riches, se poursuit au même rythme, ne va-t-il pas contribuer à pousser encore plus vers le haut la demande de biens et de services ? Les pollutions et les tonnages de déchets augmenteront dans la foulée. Nous n'avons qu'une planète. Les terres émergées dont une grande partie de déserts ne représentent

que le cinquième de sa superficie. On a défini une empreinte écologique exprimée en surface nécessaire à satisfaire les demandes d'un habitant selon le degré de développement de la nation à laquelle il appartient. Si toute l'humanité devait vivre comme un Américain du Nord d'aujourd'hui, il y faudrait quatre planètes. En 2050, il en faudrait sept ! C'est clairement impossible. Et la situation ne peut qu'empirer par la suite avec une population en croissance continue. Je crains qu'il y ait déjà trop d'êtres humains sur la Terre.



**SALVIATI.** – J'émettrai des réserves sur votre calcul de l'empreinte écologique. Les hypothèses sur lesquelles il est fondé me paraissent aller exagérément dans le sens de votre argumentation. À mon avis, plutôt que de se référer à un critère global peu significatif, il est préférable de sérier les questions. D'abord, la population : nous étions un milliard et demi d'habitants au début du <sup>xx</sup>e siècle, six milliards en l'an 2000. Les démographes nous annoncent neuf milliards vers 2050 avec peu de marge d'erreur. Sera-t-il possible de les nourrir ? Je serais sur ce point raisonnablement confiant. Nous devons à Norman Borlaug la « révolution verte » des années 1960 dont les conséquences n'ont pas fini de se faire sentir et qui n'a pas été appliquée partout. Ses plus grands succès ont eu pour cadre le Sud-Est asiatique. De nos jours, la recherche sur les technologies de l'agriculture continue d'avancer, du moins dans les pays où un certain militantisme antiscience ne l'inhibe pas. La faim dans le monde a eu tendance à régresser depuis une cinquantaine d'années malgré le doublement de la population du globe. Au-delà de 2050, les Nations unies tablent sur une stabilisation de cette population. Les instituts spécialisés sont divisés, mais ne prévoient que des variations lentes en plus ou en moins. La « bombe P » de Paul Erlich, annonciatrice d'un peuplement exponentiel semble avoir fait long feu.



**ECCOVERDI.** – Salviati, je vous trouve bien optimiste. Procurer de la nourriture à neuf milliards d'êtres humains vous paraît possible, soit. Mais cette nourriture sera-t-elle saine ? rien n'est moins certain.

Pour moi, Borlaug n'est pas un véritable bienfaiteur de l'humanité. Le productivisme agricole associé à une puissante industrie de transformation ne fournit que de la nourriture insipide et imprégnée de produits toxiques tout en épuisant les sols. La surproduction des pays développés est une catastrophe. D'un autre côté, les pratiques agricoles de beaucoup de pays en développement sont par trop primitives et les rendements à l'hectare sont ridiculement bas. Peut-on aussi admettre que dans ces pays, d'importantes superficies soient consacrées à des productions destinées à être exportées vers les pays riches ? peut-on tolérer tout ce que ce trafic implique en transports inutiles ? et je n'aurai garde d'oublier les problèmes de corruption.

L'agriculture doit redevenir plus naturelle. J'approuve les efforts faits en ce sens par l'agriculture biologique. Je souhaite que cette façon de faire soit étendue à toute la planète. Si elle s'accompagnait d'un changement de nos habitudes alimentaires avec beaucoup moins de viande à nos menus et beaucoup moins de produits exotiques acheminés de loin, l'humanité ne s'en porterait que mieux.



**SALVIATI.** – Vous omettez de dire que les rendements de l'agriculture biologique sont très inférieurs à ceux de l'agriculture appelée dédaigneusement productiviste par les écologistes. Revenir à d'anciennes pratiques, c'est aussi oublier que les cultures ne vont plus être protégées. Verra-t-on à nouveau les mauvaises récoltes et la disette qui s'en suivait ? L'écologie est souvent perçue comme le luxe des peuples qui ont oublié la faim.



**SAGREDO.** – Si j'en juge par les prix affichés au marché, les produits étiquetés « bio » sont nettement plus coûteux que les autres. Est-ce un effet de la rareté ? d'un rendement moindre ? ou veut-on fait croire aux clients que si c'est plus cher, c'est forcément meilleur ?



**SALVIATI.** – Je pencherai pour une combinaison des trois hypothèses. Rien ne prouve une quelconque supériorité de l'agriculture

biologique. Ce point fait, me semble-il, l'objet d'interminables discussions dont ne sort aucune conclusion claire.



**ECCOVERDI.** – Pour moi, la supériorité de l'agriculture biologique est une évidence. Elle se place au plus près du naturel.



**SLAVIATI.** – Je reste dubitatif et je crains que vous ne soyez victime d'une illusion d'optique. Les produits que vous appelez naturels ne seraient-ils pas simplement ceux que nous avons depuis longtemps l'habitude de voir dans les champs et les jardins, dans les boutiques et sur les marchés forains ? En réalité, ils sont le résultat de modifications apportées par les agriculteurs depuis des siècles si ce n'est des millénaires. Et ce constat n'est pas nouveau. J'avais eu entre les mains avant de venir ici, des morceaux choisis de la *Philosophie zoologique* de Lamarck, publiée en 1809. Pensant au tour que pourraient prendre nos discussions, j'avais noté sur ma tablette numérique deux extraits de ce texte. Je vous lis le premier :

*« Le froment cultivé (triticum salivum) n'est-il pas un végétal amené par l'homme à l'état où nous le voyons actuellement ? Qu'on me dise dans quel pays une plante semblable habite naturellement, c'est-à-dire sans y être la suite de sa culture dans quelque voisinage ? »*

et le second :

*« Où trouve-t-on dans la nature nos choux, nos laitues, etc., dans l'état où nous les possédons dans nos jardins potagers ? N'en est-il pas de même à l'égard de quantité d'animaux que la domestication a changés ou considérablement modifiés ? »*



**SAGREDO.** – Pour avoir vu de mes yeux un épi de maïs sauvage, à peine plus gros qu'un épi d'orge, et moins bien formé, il est en effet très différent de ce que nous cultivons aujourd'hui et je ne peux que souscrire aux observations de Lamarck. Qu'en pensez-vous Eccoverdi ? je vous sens rêveur.



**ECCOVERDI.** – Loin de moi l'idée de mettre en doute les propos de Lamarck, au contraire ! Il a laissé une réputation de penseur particulièrement rigoureux. Seulement, à son époque, les procédés de culture étaient naturels et basés sur une pratique séculaire, transmise de génération en génération, avec des améliorations lentes et contrôlées.



**SALVIATI.** – Sur ce point Lamarck était d'un avis différent. Je le cite encore :

*« Ce que la nature fait avec beaucoup de temps, nous le faisons tous les jours en changeant nous-mêmes subitement, par rapport à un végétal vivant, les circonstances dans lesquelles lui et tous les individus de son espèce se rencontraient. »*



**ECCOVERDI.** – Oui mais l'agriculture était toujours artisanale et pour employer le langage d'aujourd'hui, biologique. L'industrie agroalimentaire n'existait pas. On n'avait pas inventé les engrais chimiques ni les pesticides dont nous faisons un usage immodéré. Ces substances dénaturent complètement les produits de l'agriculture et de l'élevage. Et je ne parle même pas des O.G.M. que mettent sur le marché d'irresponsables apprentis sorciers pour le compte de multinationales avides de profits ! Il convient de s'affranchir au plus vite de tous ces dangers potentiels pour l'environnement et pour nous-mêmes.



**SALVIATI.** – La vraie question est de savoir comment vont se nourrir les neuf milliards d'êtres humains annoncés par les démographes pour 2050. Je vais citer quelques chiffres afin d'éclairer le débat. Lorsque l'espèce humaine, nomade, vivait de chasse et de cueillette, il fallait quelque 15 km<sup>2</sup> de territoire pour nourrir un individu. La révolution du Néolithique a fait faire un grand saut avec les débuts de l'agriculture et de l'élevage. La surface nécessaire en moyenne à la subsistance d'un être humain s'est réduite à quelques hectares, mettons cinq, soit 300 fois moins. Pendant très longtemps, du Moyen Âge

à la première moitié du xx<sup>e</sup> siècle, un à deux hectares ont été, en Europe occidentale, le bon ordre de grandeur. Une autre révolution, celle de Borlaug qualifiée de verte, quoi qu'en pense Eccoverti, s'est traduite par un petit saut étalé sur un demi-siècle : actuellement, nous en sommes à 0,25 hectare par être humain, statistique planétaire.



**SAGREDO.** – Mais ne pourrait-on pas rendre cultivables de nouvelles étendues de terres jusqu'ici inexploitées ?



**ECCOVERDI.** – C'est une question complexe. Si j'exclus la déforestation, oh combien dommageable pour notre planète, les terres éventuellement disponibles sont des friches naturelles. L'irrigation de zones semi-arides est une possibilité. On estime cependant qu'il n'y a pas de nouvelles terres exploitables en Europe, en Asie ni en Amérique du Nord. Restent l'Amérique du Sud et un peu l'Afrique. Et j'y reviens, il ne faudrait surtout pas continuer de détruire l'indispensable forêt tropicale. Il faut au contraire la reconstituer là où elle a disparu et peut-être l'étendre.



**SAGREDO.** – La reforestation est des plus recommandable dites-vous. Mais la surface terrestre est limitée. Si la forêt prend plus d'espace, les cultures et les pâturages en occupent moins. Pour nourrir une population toujours croissante, il faudra bien augmenter les rendements de l'agriculture. Et là, vous êtes contre ! Où est la cohérence ?



**ECCOVERDI.** – Dans une voie vertueuse. Elle passe d'abord par une limitation de l'élevage. Obtenir un kilo de viande demande dix fois plus de territoire qu'un kilo de céréales. La consommation de viande au niveau des pays développés n'est pas durable. Par une action volontariste des gouvernements et des peuples, nous devons modifier nos régimes alimentaires et nous contenter des productions locales. Et ce sera du reste beaucoup plus sain. D'autre part, on constate une grande

inhomogénéité dans la productivité agricole. Partout dans les pays riches règne une pratique productiviste qui épuise les sols. La fertilité est maintenue artificiellement avec des produits chimiques. Dans beaucoup de pays, au contraire, les rendements sont extrêmement bas et pourraient être facilement améliorés. Selon certains agronomes, la généralisation de l'agriculture biologique, qui certes abaisse les rendements ici mais compense cet effet par de fortes augmentations ailleurs, serait un moyen de nourrir la population tout en respectant la nature. Je souscris à ces idées simples et justes. On ne devrait plus proposer des produits trafiqués par l'industrie chimique et contenant des substances aux noms aussi savants qu'incompréhensibles.



**SALVIATI.** – Dans le cas des comestibles en effet, les noms savants font peur. Pour l'inconscient collectif, ces termes renvoient inmanquablement à cette industrie chimique que vous condamnez aux motifs qu'elle est polluante et que ses produits menacent notre santé. Mais la nature, immense usine, n'a pas attendu les hommes pour synthétiser des molécules plus ou moins complexes. Tenez un exemple parmi d'autres. Pourriez-vous avaler un aliment qui contient : du  $\beta$ -D-fructofuranosyl-(2-1)- $\alpha$ -D-glucopyranoside, du polyhydroxyphénol, des phosphates, du fluor, du dihydrure d'oxygène, de la phénylethylamine, de la théophylline, de la synéphrine, de...



**ECCOVERDI.** – Un instant... Vous ne seriez pas en train de vouloir nous piéger ?



**SALVIATI.** – Je rends hommage, Eccoverdi, à votre perspicacité. En effet, tous ces ingrédients entrent dans la composition d'un chocolat bio traditionnel. Il n'en demeure pas moins que si vous proposez à la plupart des gens cette liste de molécules, ils vont reculer d'horreur, pensant qu'il ne peut s'agir que d'une mixture synthétique et cancérigène mise sur le marché par une industrie agro-alimentaire plus soucieuse de ses marges bénéficiaires que de la santé de ses clients.



**ECCOVERDI.** – Je n'ai eu aucun mérite à éviter de me laisser prendre. Vous m'avez mis sur la voie avec le dihydrure d'oxygène. J'ai peu de connaissances en chimie mais suffisamment pour avoir reconnu  $H_2O$ . Flairer l'embrouille allait de soi...



**SALVIATI.** – J'aurais pu mieux dissimuler l'eau en la nommant monoxyde de dihydrogène, appellation un peu moins transparente et qui permet de se livrer à des expériences bien amusantes. Tenez, c'est arrivé récemment à Cancun au Mexique lors d'une de ces grandes conférences des Nations unies sur le changement climatique. Des étudiants avaient fait signer, par presque tous les délégués qu'ils avaient sollicités, une pétition pour bannir le monoxyde de dihydrogène (DHMO) produit chimique dont les dangers étaient répertoriés : pourquoi en effet tolérer une substance qui contribue à l'effet de serre, qui est le composant principal des pluies acides et dont l'absorption à forte dose est fatale ? Les faits étaient enveloppés dans un discours abscons contenant quelques expressions bien choisies comme : « effort global », « communauté internationale » ou encore « échelle planétaire », autant d'éléments de langage politiquement corrects pour inciter les gens à signer. Le piège avait parfaitement fonctionné.



**SAGREDO.** – Cette anecdote nous a un peu écartés de notre sujet. Elle nous éclaire cependant sur le pouvoir des mots. Suivant la façon dont elle est nommée telle ou telle chose nous apparaîtra différemment. Remplacez son nom commun par une dénomination extraite de la nomenclature chimique et un aliment devient un poison.



**SALVIATI.** – Le point important est qu'il faudra bien nourrir une population plus nombreuse qu'aujourd'hui et que la surface cultivable n'est pas extensible à l'infini. J'ai bien peur que, sans un supplément de science et de technologie, il ne soit pas possible d'y arriver. L'agriculture et l'élevage n'y suffiraient pas, même en suivant

la prescription d'Eccoverdi de réduire notre consommation de viande.

Il existe bien une solution pour apporter un complément de protéines : les poissons. Mais, on nous dit de tous côtés qu'il ne faudra pas compter sur les ressources de la mer car elles diminuent rapidement.



**ECCOVERDI.** – Je ne peux que confirmer ce constat. De nombreuses espèces marines sont menacées de disparition. On connaît depuis longtemps le massacre des baleines qu'une tardive et peu efficace réglementation internationale n'a pas réussi à stopper. J'approuve les actions de commando menées par de hardis militants écologistes contre les navires-usines japonais ou norvégiens. Il faudrait sanctionner durement les États voyous qui tolèrent, voire encouragent cette chasse prédatrice. Quant aux ravages de la pêche industrielle, ils ne se comptent plus. Les morues et les thons rouges sont en voie de disparition. Et pour beaucoup d'espèces, les prises sont constituées de poissons de plus en plus petits. Quand par hasard, on arrive à signer un accord sur des quotas et des zones d'exclusion, il se trouve toujours des États pour ne pas le respecter. C'est dramatique ! la surpêche va vider les océans de toute vie !



**SAGREDO.** – Êtes-vous en train de nous promettre la prochaine mise au rancart de ce précepte de l'antique sagesse chinoise :

*« Donne un poisson à celui qui a faim et il mangera aujourd'hui. Apprends-lui à pêcher et il aura de quoi manger pendant toute sa vie. »*



**ECCOVERDI.** – Effectivement de nos jours, même s'il apprend à pêcher, le chinois miséreux risque fort de mourir de faim. Il est tout aussi grave pour la sagesse extrême-orientale que les habitudes alimentaires des chinois changent avec l'élévation du niveau de vie d'une partie du milliard quatre cent millions d'individus que compte leur population. Ils se mettent à manger plus de viande. Leur agriculture devient productiviste et pire, ils se convertissent aux O.G.M.



**SAGREDO.** – En somme, le poids d'une Chine mal développée vous inquiète.



**ECCOVERDI.** – Et mes soucis ne se limitent pas à une agriculture qui va ravager des sols déjà fragilisés. La Chine est devenue le plus gros émetteur au Monde de dioxyde de carbone. Et d'autres pays, ceux que l'on dit émergents, s'apprentent à lui emboîter le pas. Il est urgent de prendre des mesures énergiques en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre.



**SAGREDO.** – Eccoverdi, vous venez de soulever un problème qui, au tournant du siècle, a fait l'objet d'un intense battage médiatique. Je crois avoir compris que l'effet de serre joue un rôle essentiel pour le maintien de températures favorables à la vie sur la surface de notre planète. Mais je me sens un peu perdu entre les arguments des deux camps : celui « réchauffistes » et celui des « climato-sceptiques ». Que disent au juste les uns et les autres ?



**SALVIATI.** – Je voudrais d'abord faire une remarque d'ordre sémantique. S'agissant de notre planète, on emploie abusivement le terme *effet de serre*.



**SAGREDO.** – L'image de la serre du jardinier retenant la chaleur solaire qui traverse ses vitrages serait-elle inappropriée ?



**SALVIATI.** – En grande partie, oui. Notre climat est déterminé par le transfert de chaleur à travers l'atmosphère. Les mécanismes qui y concourent sont complexes et en effet assez différents de ceux par lesquels on explique la température élevée qui règne à l'intérieur d'une serre irradiée par le Soleil. Mais les habitudes sont là, bien ancrées, et pour être compris, il nous faut continuer de parler d'effet de serre, même si c'est par abus de langage.

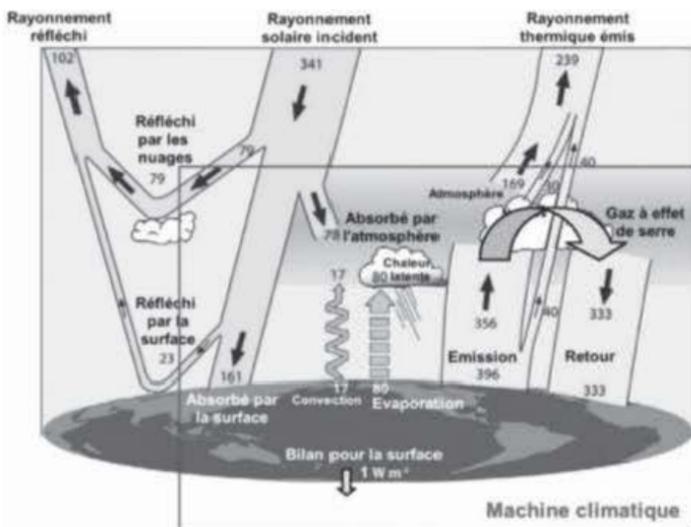


**SAGREDO.** – Ce point établi, pouvez-vous nous dire en quoi consiste cet effet, quel que soit le nom qu'on lui donne ?



**SALVIATI.** – Nous recevons du Soleil un flux de rayonnement qui entretient notre machinerie climatique par le jeu de multiples processus, mécaniques, thermiques, radiatifs, physico-chimiques... Par souci de clarté, je reprends ma tablette numérique où j'ai enregistré un croquis popularisé par sa reproduction dans de nombreux rapports. Voici donc une représentation (exagérément) simplifiée mais très parlante des effets en jeu. Les chiffres sont des densités de flux d'énergie, en watts par mètre carré ( $W/m^2$ ), dont le sens est indiqué par des flèches. Ce sont des moyennes annuelles tenant compte de l'alternance des jours et des nuits et de la succession des saisons.

La machine climatique est mise en branle par la fraction du rayonnement solaire absorbée par l'atmosphère et la surface terrestre. Elle fonctionne en régime permanent à de petits écarts près, mais qui ont de l'importance, j'y reviendrai. Un tel régime impose qu'à chaque instant, les flux vers l'espace compensent exactement les flux vers le sol. Comme vous pouvez le vérifier, c'est bien ce qui se passe au-dessus de l'atmosphère : les  $341 W/m^2$  du rayonnement solaire incident sont égaux à la somme du rayonnement réfléchi et des émissions terrestres. Il en est de même au niveau du sol, mais là c'est un peu plus compliqué en raison d'une multiplicité de processus qui ne sont plus seulement radiatifs. Il existe, en outre à ce niveau, des différences entre les terres et les mers de sorte que les chiffres du diagramme sont là aussi des moyennes, pondérées par les superficies relatives des océans et des continents.



Flux d'énergie en W/m<sup>2</sup> et machine climatique.



SAGREDO. – Je remarque sur votre schéma que la surface terrestre émet deux fois plus de rayonnement que ce qu'elle absorbe en provenance du Soleil. N'y a-t-il pas là un paradoxe ?



SALVIATI. – En effet. D'ailleurs, c'est une source de désaccord avec certains climato-sceptiques. Je vais tenter de lever le paradoxe. D'abord, vous vous demandez peut-être d'où sort ce chiffre de 396 W/m<sup>2</sup>. Il correspond au rayonnement majoritairement infrarouge qu'émettrait dans le vide l'unité de surface d'un corps noir à la température moyenne de la surface terrestre qui est de 15 °C ou 288 kelvins. Le corps noir vous intrigue ? Cette invention de physicien désigne un objet qui absorbe toutes les radiations électromagnétiques ou si vous préférez toutes les lumières qu'il reçoit, depuis les ondes radio jusqu'aux rayons gamma. Je ne vais pas entrer dans les arcanes de la thermodynamique du rayonnement. La seule chose à savoir est qu'à

l'équilibre, le rayonnement du corps noir ne dépend que de sa température. Plus précisément, les émissions donnent lieu à un flux d'énergie proportionnel à la quatrième puissance de la température absolue. C'est ce qui relie les  $396 \text{ W/m}^2$  aux 288 kelvins. Comme on peut le voir sur le graphique, 10 % de ce rayonnement s'échappent directement car les fréquences correspondent à des « fenêtres » spectrales pour lesquelles l'atmosphère est transparente. Le reste entre dans des mécanismes complexes d'absorption et de réémission par les nombreuses espèces de molécules contenues dans l'atmosphère. Le bilan de ces interactions étendu à toute la hauteur de la troposphère et de la stratosphère est une densité de flux dirigée vers l'extérieur et très inférieure aux  $396 \text{ W/m}^2$ . Au niveau de la surface terrestre, cela peut se représenter par la différence entre l'émission et une densité de flux de retour. Cette image de l'effet de serre peut vous paraître artificielle et l'est en partie. À la suite de nombreux climatologues, je trouve que c'est une description acceptable d'une réalité difficile à saisir dans tous ses détails.



**SAGREDO.** – Si je vous comprends bien, ce que l'on appelle effet de serre est une limitation du flux radiatif émis par la surface terrestre, eau des océans et terres émergées confondues. Mais vous avez postulé une valeur de la température. Vous n'avez pas expliqué comment celle-ci est déterminée.



**SALVIATI.** – Un extrémiste du climato-scepticisme pourrait dire que l'on s'est contenté de mesurer les températures à la surface de la planète, de faire une moyenne et de construire un schéma *ad hoc* avec des valeurs de flux rendant compatibles un régime permanent et la température observée. En réalité, on a procédé autrement. On a commencé par calculer, au moyen des lois du rayonnement, la température d'une Terre dépourvue d'atmosphère irradiée par le Soleil tel que nous le connaissons : température superficielle et distance. Le résultat est  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ , ce qui est évidemment impropre au développement de la

vie. La présence d'une atmosphère qui joue le rôle d'une couverture chauffante explique la différence. La difficulté est alors de recenser et de faire intervenir correctement les éléments du climat global, c'est-à-dire les mécanismes physiques et chimiques participant à l'établissement de la température observée.



**SAGREDO.** – Quand on connaît la diversité des climats qui règnent sur notre planète, je me demande s'il est bien légitime de raisonner globalement sur des moyennes.



**SALVIATI.** – Vous mettez le doigt sur une vraie difficulté. Vous avez compris que la climatologie est une science aux multiples facettes et dont la complexité présente un formidable défi à l'entendement. De nos jours, les climatologues ont à leur disposition les plus puissants des ordinateurs jamais construits. Dans leurs simulations, l'atmosphère est découpée en cellules de sorte qu'aux transferts d'énergie radiaux s'ajoutent des transferts d'une cellule à l'autre. Il est ainsi possible de reconstituer le climat de régions bien définies compte tenu de ce qui se passe dans les autres régions du globe. Cela suppose, outre une grande puissance de calcul, une masse considérable de connaissances acquises par l'observation et incorporées aux modèles. Et sur ce dernier point, force est bien de constater que nous sommes encore très ignorants.

Mais revenons, si vous le voulez bien, au schéma global. Son intérêt est double. Il est d'abord explicatif en fournissant les valeurs des températures et des flux en régime permanent. Mais il permet aussi d'analyser les conséquences de la variation de tel ou tel paramètre. Ainsi dans le cas de l'effet de serre, nous savons qu'il dépend de la concentration dans l'atmosphère de certains gaz. Imaginons que cette concentration augmente. Le flux de retour va croître, réduisant d'autant l'émission de la surface terrestre ce qui se traduit *in fine* par un déséquilibre des flux à ce niveau. Pour rétablir l'équilibre, toutes choses égales par ailleurs, la température doit s'élever. Inversement

si la température s'élève, le déséquilibre ainsi induit dans l'autre sens sera compensé par un supplément d'effet de serre que devra procurer une plus grande concentration des gaz impliqués dans cet effet. En termes savants, on dit qu'une rétroaction positive s'exerce dans les deux sens.



**SAGREDO.** – Votre explication me paraît convaincante et je comprends mieux les craintes qui s'expriment quant à un réchauffement global consécutif à une présence accrue de gaz à effet de serre. Mais dites-moi, d'après le schéma, ces gaz se trouveraient à l'altitude des nuages. Est-ce vrai ?



**SALVIATI.** – Non, ils sont dispersés sur toute la hauteur de l'atmosphère. Leur répartition en fonction de l'altitude est différente selon que la masse de leurs molécules est supérieure ou inférieure à celle des molécules d'oxygène et d'azote. Seulement, il fallait bien écrire « gaz à effet de serre » quelque part. Je reconnais que l'emplacement est mal choisi et que cela peut induire en erreur.



**SAGREDO.** – Alors ces gaz, quels sont-ils ? et d'où viennent-ils ?



**SALVIATI.** – Je vais les citer dans l'ordre des concentrations décroissantes. En premier, vient la vapeur d'eau dont la concentration en volume peut varier, d'un endroit à l'autre et dans le temps, de un pour mille à 2 % soit un facteur 20 entre l'extrême sécheresse et la limite de condensation. Des masses considérables de vapeur d'eau inégalement réparties participent à un important effet de serre, d'ailleurs mal quantifié. En revanche, la condensation en gouttelettes forme des nuages qui réfléchissent la lumière du Soleil et agissent en sens inverse. Le détail des processus impliquant la vapeur d'eau dans les échanges thermiques de l'atmosphère est encore peu connu, mais on estime généralement que l'activité humaine a une influence négligeable sur ce gaz à effet de serre.

Il n'en va pas de même pour le second de la liste, le dioxyde de carbone ou gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) qui, une fois émis, peut séjourner une centaine d'années dans l'atmosphère. On sait d'après les analyses effectuées sur les carottes extraites des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique, que la concentration de ce gaz a oscillé, pendant les centaines de milliers d'années précédant notre époque, entre 200 et 280 parties par million en volume (ppmv). Or, on assiste, depuis la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, à un accroissement continu de cette concentration. Elle est complètement sortie de la plage de variation historique, rythmée par les glaciations, pour atteindre 400 ppmv en juin 2013, comme on a pu le constater aux îles Hawaï où l'observatoire spécialisé de Mauna Loa suit depuis 1958 les variations de la teneur en  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère.



**ECCOVERDI.** – Il est difficile de ne pas attribuer cette augmentation aux activités industrielles de l'espèce humaine, en particulier aux transports que nous assurons en brûlant des quantités phénoménales de combustibles tirés du pétrole. Ils contiennent du carbone et leur combustion libère les milliards de tonnes de  $\text{CO}_2$  qui envahissent notre atmosphère et nous placent sous la menace d'un réchauffement incontrôlable.



**SAGREDO.** – Pourtant il me semble que les climato-sceptiques réfutent à grand bruit cette interprétation. Certains sont des scientifiques de renom. Ne pourrait-on faire intervenir d'autres hypothèses tout aussi légitimes ?



**SALVIATI.** – On en a proposé plusieurs qui toutes se sont révélées fragiles. Mais pour éviter une discussion trop parcellaire, il convient d'achever le tableau des principaux gaz à effet de serre. Après le dioxyde de carbone vient le méthane ( $\text{CH}_4$ ) dont la concentration varie au cours du temps de la même façon que celle du  $\text{CO}_2$  mais à des niveaux bien plus faibles : 350 à 720 parties par milliard pendant

les temps anciens, jusqu'à plus de 1 750 aujourd'hui après une montée régulière depuis l'année 1800. Le méthane, plus léger, réside dix fois moins longtemps dans l'atmosphère que le dioxyde de carbone, mais à concentration égale, sa contribution à l'effet de serre est supérieure.

Un cran en dessous, le protoxyde d'azote ( $N_2O$ ) a suivi la même évolution récente que le  $CO_2$  et le  $CH_4$  pour une concentration actuelle de 320 parties par milliard.

Ferment la marche, les chlorofluorocarbones ( $C_xH_yF_zCl_t$ ), famille de composés dont une politique volontariste menée après la signature du Protocole de Montréal a éliminé les émissions en raison des effets destructeurs de ces substances sur la couche d'ozone qui filtre les U.V. solaires.

Les contributions à l'effet de serre de ces différents gaz sont très diverses. Pour les comparer, on a introduit une équivalence avec le plus abondant d'entre eux c'est-à-dire le dioxyde de carbone. On constate ainsi qu'en équivalent  $CO_2$ , le changement d'utilisation des sols plus l'agriculture et l'élevage comptent au total pour 28 % dans les émissions de gaz à effet de serre à comparer aux 38 % de l'industrie et aux 14 % des transports.



**ECCOVERDI.** – Vos chiffres soulignent à l'évidence les effets néfastes de l'activité humaine sur l'environnement. C'est particulièrement flagrant dans le domaine agricole. En plus de porter atteinte au cadre naturel et à la biodiversité, la déforestation, les cultures et l'élevage renforcent l'effet de serre avec toutes les conséquences que l'on peut redouter.



**SAGREDO.** – Vous semblez admettre l'un et l'autre que l'activité humaine, depuis la première révolution industrielle, est à l'origine de la montée des taux de gaz à effet de serre. Je reviens à ma question précédente restée jusqu'ici sans réponse : est-on certain de cette origine anthropique ?



**ECCOVERDI.** – Pour moi, elle ne fait pas de doute.



**SALVIATI.** – Je partage cette opinion, mais avec quelques réserves. En effet, il convient de rester prudent. Le premier déterminant du climat est l'ensoleillement que nous recevons de notre étoile. Ses variations ont une double origine. D'abord le Soleil lui-même dont l'activité dépend du temps. On appelle improprement « constante solaire » la densité de flux d'énergie en provenance de l'astre, mesurée dans l'espace à la distance moyenne de la Terre au Soleil. Cette densité de flux n'est pas immuable. Vous connaissez les cycles de onze ans au cours desquels le nombre de taches oscille entre un maximum qui correspond à un maximum d'activité solaire et un minimum voisin de zéro pendant les années de Soleil calme. Cela se traduit pour la constante solaire par des oscillations de faible amplitude : quelques dix millièmes. Mais les maximums d'activité solaire ne sont pas tous de même intensité. Ainsi entre 1650 et 1715, le nombre de taches solaires était quasi nul. On appelle cette période le minimum de Maunder. C'était pendant le « *petit âge glaciaire* », période froide qui a particulièrement éprouvé l'Europe occidentale du XVI<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle. En revanche au XX<sup>e</sup> siècle, l'activité solaire se caractérise par une exceptionnelle vigueur. De nos jours, on observe plutôt une tendance à l'accalmie que l'avenir confirmera... ou non.



**SAGREDO.** – Votre propos me semble renforcer l'opinion de climato-sceptiques qui voient dans les variations de l'activité solaire l'origine principale des évolutions de la température relevées par nos stations terrestres.



**SALVIATI.** – Si l'influence du Soleil est indéniable, elle doit être comparée à d'autres. Mais je n'en ai pas fini avec notre étoile. La constante solaire a augmenté d'environ 40 % en quatre milliards et demi d'années ce qui n'a pas empêché notre Terre d'avoir été soumise dans un lointain passé à des températures de quelques degrés plus élevées qu'aujourd'hui.

Jusqu'ici, je n'ai mentionné que l'activité solaire comme cause des variations de l'ensoleillement. Or, celles-ci dépendent aussi d'effets de mécanique céleste. La Terre se déplace autour du Soleil dans le vide interplanétaire tout en tournant sur elle-même. Elle n'est pas sur des rails. Les éléments de son orbite elliptique varient au cours du temps. La direction de l'axe de rotation n'est pas non plus constante. L'angle qu'il fait avec le plan de l'orbite, ce que l'on appelle l'obliquité, oscille entre deux valeurs. De plus, il est animé d'un mouvement de précession autour d'un axe orthogonal au plan de l'orbite. Je passe sur quelques effets mineurs. La variation de l'excentricité de l'ellipse, celle de l'obliquité, la précession sont bien connues grâce aux observations effectuées par les astronomes depuis des siècles. On sait les calculer avec précision. Leurs périodes se comptent en dizaines de milliers d'années. En les combinant, on reconstitue les conditions d'ensoleillement du passé et l'on prédit celle de l'avenir proche, je veux dire pour cent mille ans ce qui n'est rien à l'échelle des temps géologiques.

Le climat du dernier million d'années a été complètement déterminé par la mécanique céleste et les modifications de l'ensoleillement qu'elle entraîne. L'ensoleillement est sujet à des fluctuations dont l'amplitude varie de façon cyclique avec une période de l'ordre de cent à cent vingt milliers d'années. Ces cycles, dits de Milancovich, sont étroitement corrélés aux glaciations.



**SAGREDO.** – Aussi bien l'activité solaire que la mécanique céleste, sont des déterminants du climat sur lesquels nous ne pouvons agir. Mais peut-on au moins prédire leurs évolutions ?



**SALVIATI.** – Oui, à coup sûr pour la mécanique céleste, à la condition toutefois de ne pas étendre la prévision trop loin dans l'avenir. Il est assez facile de comprendre pourquoi. La Terre décrit autour du Soleil une courbe fermée. Le calcul de sa position à une date donnée se fait à partir d'un état initial : position et vitesse connues avec une certaine marge d'erreur. Or au cours des calculs, l'incertitude s'accroît avec la

distance parcourue et il arrive, forcément, un moment où l'erreur sur la position devient du même ordre que le périmètre de l'ellipse. Impossible dans ces conditions de prévoir où la Terre se trouvera sur son orbite.



**SAGREDO.** – Cela me rappelle les jeux de casino. Si je transpose à la roulette ce que vous venez de nous apprendre à propos du mouvement de notre planète sur son orbite, je comprends que c'est bien un jeu de hasard ! je comprends aussi que les prévisions relatives aux positions de la Terre restent solides pour les millénaires qui viennent. Et qu'en est-il de l'activité solaire ?



**SALVIATI.** – Il n'y a aucune raison de douter de la prolongation de la tendance à l'augmentation séculaire de la constante solaire ni de la succession des cycles de onze ans. En revanche, les amplitudes à venir de ces cycles sont totalement imprévisibles faute de connaissances suffisantes sur la dynamique intime de l'astre. Mais le point important est bien celui que vous avez énoncé : il nous est impossible d'agir sur les déterminants naturels de l'ensoleillement que je vous ai présentés.



**ECCOVERDI.** – En contrepartie, dans le cas des gaz à effet de serre, autres déterminants du climat, on peut intervenir. La solution radicale serait qu'une entente internationale vise à interdire toutes les émissions. Et vite ! malheureusement, si poussées par l'action des mouvements écologistes, les Nations unies ont depuis plus de vingt ans pris conscience de cette nécessité, cela se traduit par beaucoup de paroles et de rapports à l'occasion de grandes conférences, mais aucune action efficace n'a été mise en place.



**SALVIATI.** – Permettez qu'avant de discuter ces aspects politiques importants, je donne quelques indications sur la manière de comparer les déterminants du climat. Vous aurez remarqué que tous agissent

par des modifications du flux d'une énergie essentiellement radiative. Un excès ou un défaut de la densité de flux, induit par l'un des déterminants du climat, force l'ensemble de la machine climatique à se réajuster dans un nouveau régime permanent. La température au niveau du sol fait partie des grandeurs objet de ce réajustement. Depuis 1880, date à laquelle on peut faire remonter les premières mesures un peu sérieuses, la température moyenne s'est accrue de 0,7 °C, mais pas de façon régulière. Des périodes d'accroissement relativement rapide, de l'ordre de 0,2 °C en dix ans, s'étalant sur environ trois décennies succèdent à des périodes un peu plus courtes de stagnation ou de léger déclin. Depuis le début du XXI<sup>e</sup> siècle, on observe à nouveau une stagnation.



**SAGREDO.** – Les chiffres que vous citez montrent que dans le passé, l'augmentation de la température est restée assez faible. Or, des films militants comme *An inconvenient truth* d'Al Gore ou les rapports du Groupe intergouvernemental d'étude du climat (GIEC) commandés par les Nations unies nous mettent en garde contre des augmentations susceptibles d'atteindre, au cours de ce siècle, des valeurs bien plus élevées : jusqu'à 6 ou 7 °C. Ces menaces sont-elles crédibles ?



**ECCOVERDI.** – Sans nul doute car l'ampleur constatée des concentrations de gaz à effet de serre fait partie d'une dégradation générale de l'environnement. Et leur accumulation laisse présager un emballement des températures et de la montée des eaux des océans.



**SALVIATI.** – Encore une fois, je nuancerai le propos. Pour établir des comparaisons, chaque déterminant du climat identifié est assorti d'une grandeur appelée forçage radiatif, excès ou défaut de densité de flux par rapport à une date de référence : l'année 1880 est souvent utilisée. Ainsi par rapport à cette date, les gaz à effet de serre représentent un forçage positif de 3 W/m<sup>2</sup>, l'ensoleillement induit entre 0,2 et 0,3 W/m<sup>2</sup> suivant l'activité du Soleil. En revanche, le forçage

dû aux aérosols troposphériques, y compris leurs effets indirects, est négatif au niveau de  $-2 \text{ W/m}^2$ . De fortes éruptions volcaniques injectent, dans la stratosphère, des masses de poussières qui créent un forçage temporaire négatif pouvant atteindre  $-3 \text{ W/m}^2$ . Selon James Hansen qui fut longtemps le climatologue de la NASA, le bilan de tous les forçages est positif, voisin de  $0,85 \pm 0,15 \text{ W/m}^2$ . Ces valeurs peuvent vous paraître faibles. Mais, on a pu déterminer qu'un forçage négatif annuel de  $0,01 \text{ W/m}^2$  pendant dix millénaires a entraîné la dernière en date des glaciations. Nous en sommes sortis, il y a un peu plus de dix mille ans pour entrer dans l'interglaciaire actuel appelé *holocène*.



**SAGREDO.** – C'est donc pendant cette période chaude, courte à l'échelle des temps géologiques, qu'ont pris naissance les civilisations. Mais en employant le mot interglaciaire, voulez-vous dire que la Terre est promise à une nouvelle et prochaine glaciation ?



**SALVIATI.** – Ce serait cohérent avec la succession des cycles de Milancovich. On a même pensé après le léger refroidissement des années 1940 à 1970, que le processus était en train de s'amorcer. Des études récentes tendent au contraire à montrer que cet interglaciaire pourrait s'avérer exceptionnellement long.



**ECCOVERDI.** – Surtout si nos atteintes à l'environnement conduisent à un important forçage positif. L'activité humaine deviendrait par ses conséquences le premier déterminant du climat. C'est peut-être d'ailleurs déjà le cas.



**SALVIATI.** – Peut-être en effet. Et pour aller dans votre sens, le Néerlandais Paul Crutzen, prix Nobel de chimie, a introduit le terme « *anthropocène* » pour désigner une ère nouvelle où les hommes ont renversé les rapports de domination. Il y a bien longtemps, l'homme était soumis à une nature hostile. Il se sent capable maintenant de la

dominer, sur Terre du moins et de mettre en pratique le programme de Francis Bacon : « *commander à la nature en lui obéissant* ». On hésite sur la date du début de la transition à partir de l'holocène. Certains la situent au départ de l'ère industrielle à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. D'autres comme Ruddiman effacent carrément l'holocène et font remonter l'anthropocène au commencement de l'agriculture et aux premières sédentarisation. C'était il y a plus de dix mille ans.



ECCOVERDI. – Dans le programme de Francis Bacon, je n'approuve que la partie obéissance. D'ailleurs la nature ne se laisse pas toujours faire et reprend ses droits, heureusement de mon point de vue. Ainsi, recouvrir de larges surfaces par du béton et de l'asphalte pour en faire des autoroutes et des parkings renforce le ruissellement qui conduit, en cas de grosse pluie d'orage, à des inondations catastrophiques. Dure leçon pour ceux qui croient avoir tout maîtrisé ! et l'on pourrait multiplier les exemples à l'infini. On ne domine pas la nature en saccageant l'environnement. Au contraire, on risque de provoquer des chocs en retour.



SAGREDO. – Vous me faites penser à un ouvrage de Jared Diamond : *Collapse*. Se basant sur des exemples historiques, cet auteur raconte comment des communautés humaines isolées ont été, par leur faute, conduites au déclin voire même à l'extinction. Sumériens, Pascuans, Mayas, Vikings du Groenland... ont provoqué des crises écologiques. Ayant dégradé leur environnement au point de ne plus pouvoir en extraire leur subsistance, ces populations ont du subir la disparition ou l'exil. Dans ces évolutions fâcheuses, Diamond a identifié des facteurs communs.

Figurent au premier rang les dérèglements écologiques qui peuvent avoir deux origines : l'une extérieure, par exemple un changement climatique comme on en a connu dans le passé, l'autre interne à l'espèce par la surexploitation des ressources. Dans tous les cas, la société concernée avait apporté une réponse inappropriée à ses problèmes

environnementaux. Elle avait commis des erreurs que l'on peut inscrire dans une cascade d'incapacités :

- incapacité de prévoir les problèmes créés par le développement d'une société ;
- incapacité de les identifier lorsque les problèmes arrivent ;
- incapacité de manifester une volonté de les résoudre une fois identifiés ;
- incapacité de parvenir à les résoudre, une fois exprimée la volonté de le faire.

Il me semble que nos sociétés développées savent prévoir et identifier les problèmes, mais qu'elles sont peu enclines à vouloir les résoudre et encore moins à parvenir à le faire, surtout lorsque d'importants moyens financiers s'avèrent nécessaires.



**ECCOVERDI.** – Je crois au contraire que nous sommes demeurés impuissants devant les manifestations de la violence de la nature. Prenez les tremblements de terre. Même si nous avons quelques idées quant à leurs mécanismes et si nous connaissons les zones où ils ont les plus grandes chances de se produire, il nous sera toujours impossible de savoir où exactement ni quand ni avec quelle intensité ils se manifesteront. Les Japonais l'avaient bien compris qui autrefois vivaient dans des constructions légères faciles à reconstruire et qui lorsqu'ils édifient des immeubles appliquent des normes antisismiques rigoureuses. Mais au  $xx^e$  siècle, ils ont gravement sous-estimé le potentiel destructeur d'événements naturels. La protection des installations côtières quelles qu'elles soient, ports, aéroports, centrales nucléaires et autres industries... s'est, en 2011, avérée insuffisante lorsqu'un tremblement de terre d'une force exceptionnelle et suivi d'un tsunami a ravagé la côte orientale de l'île de Honshu. D'une façon générale, les ouvrages d'art des autoroutes et les centrales électronucléaires n'ont pas leur place sur leur sol instable et pourtant, les Japonais en ont construit en nombre. C'est irresponsable ! Non, nos

sociétés sont inconscientes et loin d'imaginer dans toute leur ampleur les conséquences néfastes de leurs entreprises.



SAGREDO. – L'avenir de notre civilisation est cependant une préoccupation déjà ancienne. Le *Club de Rome*, cela vous dit certainement quelque chose. Cette instance informelle à géométrie variable a été fondée à l'initiative d'un industriel de notre pays, le regretté Aurelio Peccei. Elle réunit des savants, des économistes et des responsables publics ou privés pour réfléchir sur l'avenir de l'humanité. Au début des années 1970, elle avait commandité une étude effectuée par Dennis Meadows et ses collaborateurs à l'aide d'un modèle mathématique sur ordinateur élaboré au M.I.T. Les résultats parurent en 1972 dans un livre *The limits to growth* dont vous vous souvenez sans doute.

Le modèle englobait population, économie et environnement dans un vaste maillage aux multiples boucles faites de flux physiques et de liaisons causales. Les préoccupations environnementales étaient celles d'aujourd'hui : gaz à effet de serre, pollution thermique, déchets radioactifs, pollutions chimiques diverses. Compte tenu d'une quantité forcément limitée de ressources à consommer, le rapport proposait à partir des données disponibles en 1970 et pour une période s'étendant jusqu'à la fin du *xxi*<sup>e</sup> siècle, des évolutions de paramètres significatifs calées sur l'historique depuis 1900. Comme pour une partie d'échecs, de nombreuses variantes étaient analysées, les politiques de laisser-faire conduisant autour de 2025 à un effondrement brutal de la nourriture disponible et de la production industrielle, l'une et l'autre rapportées à un habitant de la planète. Après un pic atteint vers 2050, la population ne pourrait que décroître. L'annonce de telles éventualités fit d'autant plus de bruit qu'on était à la fin de cette période d'après la Seconde Guerre mondiale appelée souvent les « *trente glorieuses* ». Un certain optimisme régnait toujours. La prédiction d'un inéluctable effondrement du système économique tombait mal.



**ECCOVERDI.** – Il n'y avait pourtant rien dans ces conclusions qui puisse surprendre. Avec une population trop nombreuse, des ressources en voie d'épuisement, un environnement dégradé par les pollutions et les déchets, qu'attendre d'autre, sinon l'annonce d'une catastrophe planétaire ?



**SALVATI.** – Dans les années 1970, l'astrophysicien Fred Hoyle avait imaginé, sans le secours d'ordinateurs, mais avec du bon sens, ce qui pourrait advenir de nos sociétés. Il imaginait l'avenir sous forme d'une course entre production de richesses et population. Son analyse englobait, dans l'esprit de votre dernière remarque, le cas d'un effondrement économique consécutif au décrochage de la production par rapport à la population.

L'étude du M.I.T. pour le compte du Club de Rome a été le premier exemple de mise en œuvre d'une simulation numérique appliquée au développement de l'ensemble de l'humanité. C'était à l'époque une démarche pionnière. Le traitement par ordinateur permettait d'y inclure un nombre considérable de données et de multiples relations entre acteurs économiques. Aujourd'hui c'est une pratique courante. Une multitude d'agences et d'organismes qu'ils soient internationaux, nationaux, non-gouvernementaux, publics ou privés, élaborent des scénarios pour l'avenir à l'aide de simulations numériques. Ces scénarios déroulent des histoires qui pourraient advenir dans le futur. Toutes ne finissent pas en catastrophe.



**ECCOVERDI.** – C'est qu'elles n'intègrent pas les graves atteintes à l'environnement que notre espèce s'ingénie à perpétrer. Lorsque les associations environnementales élaborent des scénarios pour une civilisation durable, elles supposent que des mesures sont prises pour éviter un effondrement et les intègrent dans leurs modèles. Réduire fortement la consommation d'énergie est un bon exemple de ce qu'il convient de faire.



SALVIATI. – J'adhère plutôt à une autre catégorie d'explications, appartenant au domaine des mathématiques. Rassurez-vous, je ne vais pas vous infliger un cours. Il suffit simplement de savoir que, dans ce type de problème, on résout sur ordinateur des ensembles d'équations différentielles appelés systèmes dynamiques. Les solutions sont des trajectoires dans l'espace dont une seule propriété nous intéresse ici. Si l'on se fixe un état initial par les valeurs d'un certain nombre de paramètres et de leurs dérivées ce qui correspond à une situation à une date donnée et à la tendance à cette même date, toutes les trajectoires sont disposées à partir de ce point à l'image d'une queue-de-cheval. Il n'est pas possible dans ces conditions de déterminer une trajectoire à partir des seules données initiales. Pour pouvoir développer un scénario, c'est-à-dire raconter une histoire plausible, il convient d'imposer des conditions suffisamment fortes sur l'état final comme le font les scénaristes dont parlait Eccoverdi à l'instant. Ces conditions peuvent être de toute nature : physique, économique, idéologique, politique... La queue-de-cheval est ainsi constituée de toutes les trajectoires calculées en se donnant a priori telle ou telle contrainte. J'imagine que le M.I.T. avait procédé de cette façon, directement ou indirectement.



SAGREDO. – Dans *The limits to growth*, les auteurs sous-entendent qu'un grand nombre de cas ont été traités. Ils ont choisi de présenter ceux qui collent le mieux avec leurs thèses. Et, dans mon souvenir, ils attribuent plus volontiers les effondrements à la pénurie de ressources qu'à un changement climatique.



SALVIATI. – À l'époque, le climat n'était pas à la mode.



SAGREDO. – De toute façon, Dennis Meadows reste très attaché à son modèle. Dans les nombreuses conférences qu'il est invité à donner un peu partout, il montre comment les évolutions observées s'accordent bien aux prévisions faites en 1972. Mais curieusement, il ne

paraît pas s'intéresser à l'effondrement que personne n'avait vu venir, celui des anciens pays communistes de l'Est européen. On y pratiquait la surexploitation des ressources notamment énergétiques, et le mépris total pour les questions environnementales qui semble-t-il n'entraient pas dans le champ d'application du marxisme léniniste. Cette façon de gouverner n'était pas durable. Avant un quelconque signe d'épuisement des ressources, l'implosion du régime soviétique s'est produite sous nos yeux autour de 1990 en même temps que l'économie de ces pays s'effondrait.



**SALVIATI.** – On peut aussi regretter que Meadows n'ait pas procédé à des mises à jour de son modèle. Le monde d'aujourd'hui n'est pas celui des années 1970. La société a changé. De nouveaux pays très peuplés ont entamé une phase de développement accéléré. 50 % de la population vit désormais dans les villes dont des mégapoles qui dépassent chacune les 20 millions d'habitants. Ce mouvement d'urbanisation semble irrésistible. Il va s'amplifier. Sur un autre plan, nous utilisons maintenant des moyens de traitement de l'information sans commune mesure avec ceux de l'époque.



**SAGREDO.** – Vous semblez penser que les modèles d'aujourd'hui seraient différents de ceux des années 1970. Est-ce un simple effet de mode ou les connaissances ont-elles entre temps à ce point évolué ?



**SALVIATI.** – Nous avons à notre disposition bien plus de données. Les mesures satellitaires se sont généralisées aussi bien pour la composition de l'atmosphère par exemple que pour les sols et la végétation. On en sait beaucoup plus sur les cycles de l'eau et du carbone. Et puis en 40 ans, l'informatique a fait des progrès considérables. L'ordinateur est partout, à la maison, au bureau, dans les usines, dans les boutiques, dans les véhicules... les performances des machines les plus puissantes se comptent en « téraflops » c'est-à-dire en milliers de milliards d'opérations par seconde. Dans le même temps, les méthodes

numériques se sont affinées, l'interface homme ordinateur est devenu convivial.

Comparé aux simulations numériques d'aujourd'hui, le modèle de Meadows paraît bien primitif.



**ECCOVERDI.** – Mais Dennis Meadows reste un de ces lanceurs d'alerte que les écologistes écoutent avec la plus grande attention. Les associations environnementales les prennent très au sérieux et répercutent leurs avertissements dans les médias. Que ne sont-ils mieux entendus !



**SAGREDO.** – J'ai en effet l'impression qu'aujourd'hui, les problèmes d'environnement, dont celui des gaz à effet de serre, sont passés au second plan des préoccupations de l'opinion. C'est sans doute un dommage collatéral de la crise économique que les pays développés subissent depuis 2008. Pourtant, nous continuons de modifier la composition de l'atmosphère comme l'a fait l'humanité depuis les débuts de l'ère industrielle qui remontent à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle en Angleterre. Les rapports du GIEC visent, semble-t-il, à propager l'idée qu'en raison de l'activité humaine, la concentration des gaz à effet de serre s'accroît dans des proportions pouvant entraîner un réchauffement sensible. Est-ce son caractère officiel qui empêche le GIEC d'être perçu comme un lanceur d'alerte ?



**ECCOVERDI.** – Une majorité d'écologistes au contraire ne perd pas de vue que l'augmentation constatée des concentrations de gaz à effet de serre expose la Terre aux risques abondamment soulignés dans les rapports du GIEC. En plus du réchauffement climatique, il faut s'attendre à l'élévation du niveau des mers, à une fréquence accrue des événements extrêmes comme les vagues de froid ou de chaleur, les cyclones tropicaux, etc.



**SAGREDO.** – J'observe aussi que la parution de ces rapports s'accompagne de polémiques souvent violentes, attisées par des climato-sceptiques, pleins de certitudes.



**SALVIATI.** – Beaucoup se méprennent sur le GIEC et son rôle. Cette instance n'est pas un sacré collègue chargé de dire la foi ni le bras armé d'on ne sait quelle mafia écolo-punitive. Sa fonction est de rendre public, à intervalles plus ou moins réguliers, l'état des connaissances sur le climat.

La perspective d'un changement climatique à échéance indéterminée mais lointaine n'est pas de nature à mobiliser l'opinion publique. Cependant une communauté minoritaire mais influente d'intellectuels, de scientifiques et de responsables politiques a bien pris conscience des problèmes.



**ECCOVERDI.** – Je rappelle que les écologistes et les associations non gouvernementales qu'ils animent font partie de cette minorité agissante. Ils y ont joué un rôle moteur.



**SALVIATI.** – Ils font surtout beaucoup de bruit tandis que les scientifiques travaillent. Sur le plan politique, les questions relatives au changement climatique affectant la planète tout entière sont traitées au niveau des Nations unies où des initiatives spécifiques ont été prises. Sous l'égide de la Convention cadre sur les changements climatiques (C.C.N.U.C.C.), de grandes conférences très médiatisées ont été organisées dont la première s'est tenue à Rio de Janeiro en 1992. Ces réunions ont un double objet : d'abord, définir des objectifs que les États ou des ensembles comme la Communauté européenne s'engagent à respecter pour prévenir d'éventuels changements ; ensuite, préconiser des mesures et des actions à entreprendre. Les rapports du GIEC, autre émanation des Nations unies, servent de référence dans les discussions.

Groupe à géométrie variable, le GIEC confie à un collègue d'experts le soin de procéder à une compilation raisonnée de la littérature scientifique. À partir de là, des rapports sont rédigés qui dressent un état des connaissances à une date donnée. Parler de théories ou de modèles du GIEC est un non-sens. Les rapports reflètent l'expression

d'une large majorité de la communauté scientifique. À de rares erreurs près dûment épinglées par les climato-sceptiques mais reconnues et corrigées, leur contenu factuel, appelé à évoluer d'une édition à la suivante, soulève peu de contestation. Il n'en va pas de même pour les conclusions qu'on en tire. La rédaction des résumés pour décideurs (« *executive summaries* »), dernière étape avant publication, est faite en commun avec des représentants des pouvoirs politiques. Seul le contenu de ces résumés, consensuels par obligation ce qui n'exclut pas les biais, est abondamment diffusé puis commenté par les médias.

On peut déplorer, et je ne m'en prive pas, l'intrusion de la politique la plus politicienne dans les résumés pour décideurs. De plus, la communication du GIEC laisse souvent à désirer. Polémiques, mauvaise foi et désinformation peuvent ainsi prospérer.



**SAGREDO.** – Si je vous suis bien, l'annonce d'un réchauffement global ne fait que répercuter les résultats de simulations que les climatologues ont effectuées.



**SALVIATI.** – Exactement et encore une fois, cela n'a rien à voir avec la proclamation d'un dogme. Les climatologues disposent d'outils de simulation numérique performants et que les progrès de l'informatique permettent sans cesse d'améliorer. Les codes sont qualifiés en reconstituant l'évolution passée sur une centaine d'années. Ils suivent l'évolution de la température et des précipitations à partir de la connaissance des forçages radiatifs. C'est ainsi que l'on a pu vérifier qu'en l'absence de forçage d'origine anthropique, il est impossible de retrouver les températures observées pendant la seconde moitié du <sup>xx</sup>e siècle, globalement et par grandes zones géographiques.

Les simulations pour l'avenir jusqu'en l'an 2300 présentent le caractère relevé à propos des scénarios : les trajectoires obtenues à partir d'un état initial donné forment une queue-de-cheval en s'écartant d'autant plus les unes des autres que l'on avance dans le temps. Rassemblant les résultats, le GIEC énonce simplement que, sous telles

ou telles conditions, l'élévation de température sera située entre deux limites, l'une assez proche des valeurs actuelles, l'autre plus ou moins élevée. Bien entendu, les lanceurs d'alerte dont vous parlez tout à l'heure s'emparent de la valeur la plus élevée. Marchands de peur et médias leur emboîtent le pas, c'est leur fonds de commerce.

Les climato-sceptiques pourraient communiquer sur les valeurs les plus basses, mais ils ont un autre argument. Depuis 1998, on observe une stagnation de la température moyenne du globe qui ne s'accorde évidemment pas aux prévisions les plus alarmistes. Les climatologues y voient l'effet d'une oscillation dont la période est d'environ un siècle, propre au système océan-atmosphère dans l'Atlantique Nord et qui se combine à une tendance générale à la hausse. Dédaignant cette explication, les climato-sceptiques pensent tenir là une bonne raison pour réfuter toute influence anthropique induisant un réchauffement.



**SAGREDO.** – Vous avez cité plusieurs fois les climato-sceptiques. J'ai moi-même employé ce terme par opposition à ceux que leurs détracteurs nomment « réchauffistes », catégorie où l'on peut ranger tous ceux, scientifiques ou non, qui admettent la réalité de la menace d'un changement climatique provoqué par l'homme. Les climatologues dans leur majorité en font partie si l'on se réfère à la teneur des rapports du GIEC. Qui sont ces climato-sceptiques, minoritaires mais sûrs de leur fait et qui savent se faire entendre ?



**SALVIATI.** – Je rappelle d'abord qu'un consensus ne saurait tenir lieu de vérité scientifique. Partant de là, des chercheurs en mal de notoriété jouent la carte de l'opposition, souvent consacrée par l'histoire au paradigme dominant. Ils se voient déjà en Galilée d'une nouvelle révolution copernicienne. Comme l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre et dans une moindre mesure, l'élévation des températures au cours du dernier tiers du xx<sup>e</sup> siècle sont difficilement contestables, leur argumentation vise à minimiser l'impact de l'activité humaine. Ils avancent, par exemple, que l'action du Soleil,

particulièrement actif dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, pourrait à elle seule entraîner une hausse des températures, suivie de celle des concentrations des gaz à effet de serre. Mais, selon des spécialistes reconnus de la physique solaire comme Sami Khan Solanki, la part du Soleil dans le réchauffement constaté après 1970 ne peut dépasser 30 %.

D'autres constatant que les météorologues ne sont pas capables de faire des prévisions à plus de quelques jours, mettent en doute la pertinence du calcul d'évolutions climatiques à long terme. À ce type d'argument, il est facile de répondre que les climatologues raisonnent sur des moyennes dans le temps et dans l'espace qui en quelque sorte effacent les fluctuations qui sont le lot de la météo.



**ECCOVERDI.** – Il ne faudrait pas oublier ceux qui dépendent, de près ou de loin, d'intérêts économiques fondés sur l'exploitation des combustibles fossiles. De puissants lobbys contrôlent ce domaine. Une politique de réduction drastique de la consommation d'énergie donc des émissions de gaz à effet de serre comme celle que préconisent les écologistes représente pour les multinationales du pétrole un danger mortel. Elles ont largement les moyens de financer des études prétendument scientifiques allant dans le sens de leurs intérêts et de corrompre des politiciens.



**SALVIATI.** – On trouve aussi parmi les climato-sceptiques des adeptes de la théorie du complot. Ils voient derrière la contrainte climatique annoncé l'influence occulte d'une vaste conjuration planétaire alliant des écolo-fascistes, des scientifiques et des institutions internationales avides de crédits et de frais de missions, des médias sensationnalistes et marchands de peur...

Rappelez-vous le petit canular de Cancun dont je vous ai parlé tout à l'heure. Il était en réalité téléguidé par des climato-sceptiques qui voulaient prouver que les membres des délégations officielles participant aux grands rassemblements onusiens pouvaient avaler

n'importe quelle salade pseudo-scientifique, catégorie où ils rangent un réchauffement global d'origine anthropique destiné seulement à faire peur, cette peur qui soumet autant qu'elle fait vendre, et pas seulement du papier.

La grande réussite des climato-sceptiques est d'avoir influencé en leur faveur une opinion publique plus sensible aux aléas météorologiques qu'aux tendances à long terme et plus prompte à réagir à une hausse du prix des carburants qu'à l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Dans la grande presse et parfois dans des revues de vulgarisation, la tendance au scepticisme l'emporte et les milieux médiatico-politiques suivent ce mouvement.



**SAGREDO.** – Les sondages montrent en effet que les scientifiques se rangent majoritairement, bien qu'avec des nuances, dans le camp réchauffiste tandis que le grand public adhère plutôt au climato-scepticisme. Les politiciens étant à l'écoute des opinions publiques, on comprend mieux pourquoi les grandes conférences des Nations unies sur le climat qui rassemblent des dizaines de milliers de participants ont tellement de mal à déboucher sur des actions qui engagent vraiment la communauté internationale. Le Protocole de Kyoto, signé en 1997 et abondamment médiatisé au tournant du siècle, s'est effiloché dans l'indifférence générale.



**ECCOVERDL.** – Il n'en reste effectivement plus rien. Il était, il est vrai, bien mal ficelé. Conclu pour quinze ans, il n'engageait, sur des objectifs assez modestes, que celles qui le voulaient bien parmi les nations du monde développé. Il fallait qu'un nombre suffisant d'États le ratifient pour qu'il entre en application. Les États-Unis ont avancé de plus ou moins mauvaises raisons pour ne pas le ratifier. J'ai le sentiment que, parmi les premiers signataires, beaucoup espéraient sans le dire que le quorum ne fut jamais atteint. Le Canada ou l'Australie s'en sont retirés faute d'avoir entamé la moindre action pour en appliquer les recommandations. L'Europe communautaire avait défini des modalités de

mise en œuvre sur une base continentale avec un marché pérenne de droits d'émission de CO<sub>2</sub> qui a tourné au fiasco. Chaque état se voyait fixer des objectifs d'émission par rapport à l'année de référence 1990 : en baisse pour les pays industrialisés fort émetteurs, à l'identique pour les pays industrialisés peu émetteurs, en hausse pour les pays encore en développement. Des quotas d'émission étaient attribués aux industries, qui pouvaient, selon les résultats obtenus, les négocier sur un marché spécialement institué. Le cours de la tonne de CO<sub>2</sub> émise n'a cessé de baisser pour stagner aujourd'hui à des valeurs ridiculement faibles. Ce résultat déplorable prouve, s'il en était besoin, que les méthodes du capitalisme ne peuvent fonctionner pour traiter des problèmes aussi graves que la qualité de notre environnement.



**SAGREDO.** – À mon avis, le capitalisme n'y est pour rien ou plutôt, on n'a pas été jusqu'au bout de sa logique. Le système de quotas négociables, élaboré par des technocrates, les octroyait gratuitement au lieu de les vendre au plus offrant et ne permet toujours pas à l'autorité régulatrice d'en racheter afin de maintenir les cours. Pour en revenir au Protocole de Kyoto, il n'est entré en vigueur qu'après sa ratification par la Russie en 2005 quand ce pays eut constaté qu'après son effondrement économique du début des années 1990, les objectifs de réduction étaient automatiquement réalisés sans que cela ne lui coûte aucun effort. 1990 était une bien mauvaise référence.



**ECCOVERDI.** – L'histoire des pays d'Europe orientale nous montre les bienfaits pour l'environnement de la moindre consommation d'énergie sur un territoire donné, conséquence de leur effondrement. Ne me faites cependant pas dire que le salut de la planète réside dans un effondrement économique généralisé. Il est dans une autre économie que l'actuelle.



**SAGREDO.** – Même s'il reste des doutes, le changement climatique est une éventualité à prendre au sérieux d'autant plus qu'il existe des

indicateurs objectifs de réchauffement : l'accélération de la fonte des glaciers, la moindre étendue de la banquise arctique ou plus prosaïquement, les vendanges dont la date a été progressivement avancée de trois semaines en un demi-siècle. L'humanité se trouve confrontée à un gigantesque défi : comment, si c'est possible, contrer un réchauffement tout en poursuivant le développement économique.



**ECCOVERDI.** – De quel développement voulez-vous parler ? Améliorer le sort des plus pauvres est certes souhaitable, mais il faut arrêter le productivisme et l'hyperconsommation des pays occidentaux riches. Ce sont les plus gros pollueurs et les plus grands émetteurs de gaz à effet de serre. Ils doivent être les premiers concernés par les actions visant à limiter les dommages à l'environnement dus aux activités humaines. L'usage des combustibles fossiles ou nucléaires doit y être éliminé. L'agriculture doit redevenir exclusivement biologique. Les transports des personnes et du fret doivent être réduits au strict minimum. À ce prix, nous sauverons la planète !



**SAGREDO.** – Je crains qu'il soit difficile de faire accepter un tel programme aux peuples concernés. Il y eut un président des États-Unis pour proclamer que le mode de vie américain n'est pas négociable. Et dans tous les pays émergents, la population aspire à vivre comme les occidentaux, avec le même confort et les mêmes facilités de déplacements. Si ces attitudes conduisent à un réchauffement, nous restons face au dilemme : s'adapter ou combattre.



**SALVIATI.** – S'adapter implique une bonne dose d'optimisme. Cela revient à supposer que le réchauffement n'aille pas s'emballer au point de ne plus pouvoir être contrôlé par les mécanismes naturels qui font passer d'un régime permanent à un autre. La Terre a déjà connu des périodes plus chaudes de quelques degrés que l'actuelle. Ce fut même la règle pendant les ères secondaire et tertiaire jusqu'aux glaciations du quaternaire. Les conséquences d'un retour à la situation d'il y a

deux cents millions d'années seraient une élévation du niveau des mers et des écosystèmes décalés vers le Nord sur des distances qui pourraient atteindre 2 000 km. Les populations devraient fuir les zones inondables et migrer vers le Nord. C'est envisageable, surtout si ces déplacements ne doivent pas se faire dans l'urgence.

Avant de combattre il conviendrait de prendre des mesures de prévention par une réduction programmée des émissions de gaz à effet de serre. C'est la voie choisie par les Nations unies, mais sans aller jusqu'aux propositions radicales préconisées par Eccoverdi. Elle est planifiable et c'est un gros avantage. Les modèles numériques permettent, en effet, d'établir la façon dont doivent, à partir d'aujourd'hui, évoluer les émissions pour que la concentration de gaz dans l'atmosphère se stabilise vers la fin du siècle et au-delà sur une valeur fixée à l'avance : sur leur lancée, les émissions d'origine anthropiques vont continuer d'augmenter, passer par un maximum puis lentement décroître. À l'échelle planétaire, elles devraient avoir diminué de moitié vers 2050 par rapport à la situation d'aujourd'hui, premier jalon d'une dynamique de décroissance continue pendant les prochains siècles. Une telle évolution programmée des émissions devait dans l'esprit de ses initiateurs, conduire à un niveau de stabilisation autour de 450 ppm pour la concentration en dioxyde de carbone. Les récentes observations de la tendance obligent de réviser cette valeur à la hausse. 550 ppm restent encore possibles, deux fois plus que les maximums atteints lors des précédents interglaciaires.



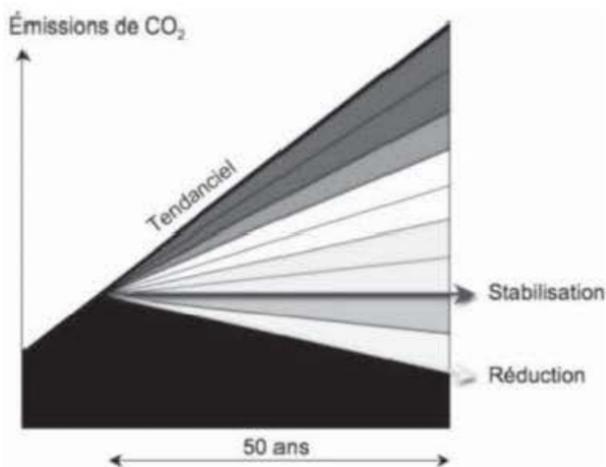
**ECCOVERDI.** – Je maintiens que réduire les émissions des gaz à effet de serre doit s'inscrire dans une perspective plus large. Il nous faut une véritable transition écologique, rapide et qui touche tous les aspects de notre relation à la nature.



**SALVIATI.** – À tout vouloir à la fois, vous risquez fort d'en rester au stade des incantations. Le problème des gaz à effet de serre est suffisamment important et prioritaire pour faire l'objet de réflexions

spécifiques. Les extrapolations que permettent les modèles des climatologues suggèrent des programmes dont il convient de définir la façon de les réaliser. C'est ainsi que deux chercheurs de l'université de Princeton, Stephen Pacala et Robert Sokolow, ont élaboré une doctrine pour servir de base aux politiques de réduction. Elle est très bien illustrée par un schéma enregistré dans ma tablette numérique. Regardez.

Dans un scénario laisser-faire, les émissions de gaz à effet de serre doublent au cours des 50 ans prochains. Par rapport à cette tendance, Pacala et Sokolow proposent d'*enfoncer des coins*. Enfoncer un coin consiste à effacer, de façon progressive (linéaire sur 50 ans), les émissions de CO<sub>2</sub> jusqu'à les avoir réduites à la cinquantième année de un milliard de tonnes de carbone annuelles (3,7 milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>). Les actions à entreprendre, économiser l'énergie ou mettre en œuvre telle ou telle technologie de moindre émission, sont évaluées selon leur capacité à enfoncer au moins un coin.



Comment « enfoncer des coins » stabilise voire réduit les émissions de CO<sub>2</sub>.

En 2000, le total planétaire des émissions annuelles était d'environ 25 milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> (sept milliards de tonnes de carbone). Il faudrait enfoncer sept coins pour stabiliser les émissions pendant les 50 années à venir, et au moins deux de plus pour que les émissions de 2050 soient significativement réduites par rapport à celles de l'an 2000. C'est dire l'ampleur de la tâche !

- Or, pour effacer 1 GtC/an dans 50 ans, il faudrait chaque année :
- convertir 40 Mtep de charbon en 40 Mtep de gaz ;
  - ou équiper 20 GW<sub>e</sub> de centrales à flamme en CCS en plus de transporter et séquestrer 7,5 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> supplémentaires ;
  - ou brûler 20 Mtep de biomasse (bois énergie et biocarburants) ;
  - ou mettre en service huit EPR ;
  - ou ériger sur terre et en mer 50 000 éoliennes de 2 MW ;
  - ou déployer 3 000 km<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques.

Les chiffres montrent que les objectifs globaux de réduction des émissions sont hors de portée de chacune de ces technologies, prise isolément. Il sera nécessaire de les employer toutes en même temps. Cette approche a le mérite de tenir compte des capacités industrielles présentes ou prévisibles et de l'inertie propre aux activités humaines. Elle intègre, de ce fait, l'idée qu'il n'existe pas de solution miracle susceptible de résoudre tous les problèmes.



**ECCOVERDI.** – Vous oubliez les économies d'énergie. Se restreindre de 20 Mtep/an représente un effort supportable par nos sociétés. On peut même le multiplier par deux ou trois. Voilà un remède efficace, peu coûteux et qui nous épargne l'inflation technologique.



**SAGREDO.** – Vous me permettez d'émettre des réserves à propos du coût. Un exemple : pour économiser sur le chauffage, il convient d'investir dans l'isolation. Que l'on mette en place des économies d'énergie ou que l'on développe des technologies décarbonées, toute

cette politique de prévention va se traduire par d'énormes sommes d'argent. Cet aspect n'avait pas échappé aux économistes. En 2007, est paru un document *The economics of climate change, the Stern review*, fruit des travaux d'une commission présidée par Lord Stern qui montre que le coût de la prévention, évalué à 1 % du PIB annuel d'ici 2050, est inférieur à celui de l'inaction. Dans le cas extrême où ne rien faire conduirait à une élévation de température de 5 à 6 °C, la note à payer serait comprise entre 5 et 15 % du PIB annuel pendant la seconde moitié du siècle. Je crains que ces évaluations, en raison de la crise économique survenue en 2008, soient tombées dans un relatif oubli.



ECCOVERDI. – Et pour aller dans votre sens, je constate que malgré les protestations des écologistes et de quelques autres, les émissions de gaz à effet de serre sont reparties à la hausse après un léger repli en 2009, effet de la crise sans doute. Il sera bientôt trop tard pour réagir efficacement.



SALVIATI. – Peut-être pas. On a, en effet, avancé de multiples propositions pour combattre le réchauffement. Elles entrent dans le cadre de ce que l'on désigne couramment par le terme générique de « *geo engineering* ». Elles se réfèrent toutes à une même idée de base : intervenir sur les flux de chaleur qui régissent la machinerie climatique.



SAGREDO. – Dans le stade actuel de nos connaissances, une telle idée n'est-elle pas du domaine de la science-fiction ?



SALVIATI. – Je ne le crois pas. Après tout, si nous envisageons un réchauffement consécutif à l'augmentation, par notre faute, des concentrations de gaz à effet de serre, c'est bien que nous pensons avoir agi sur un flux de retour donc fait du *geo engineering* comme ce personnage du théâtre français faisait de la prose, sans le savoir.



**SAGREDO.** – Le problème est que jusqu'ici, nous avons agi dans un sens négatif du moins si l'on en croit la majorité de ceux qui s'intéressent à l'évolution du climat.



**ECCOVERDI.** – Les écologistes sont sur la même ligne, ce qui les rend hostiles par principe au *geo engineering* en général. Ils n'en attendent que des catastrophes. Je ne vois pas comment une intervention humaine sur les flux de chaleur naturels pourrait s'avérer bénéfique.



**SALVIATI.** – Tel n'est pas l'avis des promoteurs des méthodes destinées à combattre le réchauffement climatique. Dans ce domaine, l'imagination peut se donner libre cours et les propositions sont nombreuses. Certaines n'ont pas dépassé le stade des idées, d'autres ont déjà fait l'objet d'études, de modélisation ou même d'essais. On peut distinguer deux grandes familles.

La première consiste à vouloir modifier la composition de l'atmosphère ou des océans. Entre dans cette famille tout ce qui est susceptible de contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre pour en limiter la concentration. Mais on envisage d'aller beaucoup plus loin dans cette voie, par exemple en capturant le  $\text{CO}_2$  de l'air au moyen d'arbres artificiels ou en fertilisant les océans par des composés ferreux pour catalyser l'absorption des excès de  $\text{CO}_2$  par le plancton. Cette dernière suggestion a donné lieu à des expériences peu concluantes au large du Japon. Le forçage négatif, prouvé, des aérosols relâchés dans l'atmosphère par les plus violentes des éruptions volcaniques a inspiré ceux qui imaginent injecter directement des aérosols ou ceux, qui comme Paul Crutzen, pensent ensemençer la stratosphère d'oxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) dont la présence catalysera la formation d'aérosols. On pourrait aussi fabriquer de la vapeur d'eau à partir de navires-usines sillonnant les mers, ce qui créerait des nuages susceptibles de réfléchir la lumière du Soleil et donc de diminuer le flux entrant.

Ce dernier procédé appartient aussi à l'autre famille où l'on se propose d'agir sur le rayonnement incident. Une autre façon d'augmenter la réflexion consiste à disposer des miroirs de grande surface dans les déserts. La solution alternative serait de tamiser la lumière solaire par des écrans placés entre la Terre et le Soleil. Réduire l'ensoleillement de 2 % pourrait compenser le pire réchauffement attendu d'ici la fin du siècle. Dans cette mise en œuvre d'« ombrelles », il serait fait appel aux technologies développées pour la conquête de l'espace.



**ECCOVERDI.** – Vous faites bien d'employer le conditionnel car vu le coût des technologies spatiales, les ombrelles, pour autant qu'elles soient efficaces, ce dont je doute, seront pour longtemps du domaine de la science-fiction.



**SALVIATI.** – Comme pour les mesures de limitation des émissions de gaz à effet de serre, il faudrait comparer au coût de l'inaction. Et puis l'espace fait toujours rêver. Les propositions les plus anciennes envisagent de satelliser des objets à proximité de la Terre : par exemple, 55 000 miroirs de 100 m<sup>2</sup> sur des orbites aléatoires ou un anneau équatorial de poussières à des altitudes comprises entre 2 000 et 4 500 km.

Une autre approche consiste à disposer l'ombrelle au voisinage d'un point situé entre la Terre et le Soleil où attractions des deux astres et force centrifuge se neutralisent. En termes savants, on parle du point de Lagrange L1. Il est à 1,5 million de kilomètres de notre planète. Il est déjà utilisé pour y installer à demeure des satellites d'observation du Soleil. Il y a cependant un inconvénient : L1 est un point d'équilibre instable. À la moindre sollicitation, un objet placé là s'éloignera lentement mais sans retour. Il existe cependant un moyen d'éviter une telle dérive. On fait suivre aux satellites une orbite dite de halo, vaste ellipse autour du point de Lagrange. Une telle trajectoire est raisonnablement stable et les satellites sont équipés de propulseurs pour effectuer, sur commande depuis la Terre, d'éventuels rattrapages.



**SAGREDO.** – On conçoit bien l'intérêt de placer l'ombrellé en un point qui lui assure la même période orbitale que notre planète. Mais l'entreprise apparaît difficile à mener à bien. Et d'abord, en quoi consisterait cette ombrellé ?



**SALVIATI.** – Plusieurs solutions ont été proposées. La plus élaborée passe par la fabrication sur la Lune d'un dispositif équivalent à une lentille divergente transporté ensuite jusqu'au point L1 où des asservissements maintiendraient à la fois sa position et son orientation. Plus simples dans leur principe, un grillage de fils d'aluminium excessivement fins, un essaim de réflecteurs sous forme de disques métalliques très minces ou encore un essaim de diffuseurs plastiques également très minces, présenteraient la difficulté de trouver un compromis entre la masse et la durée de vie du système. Ces idées ont ainsi en commun, outre leur coût farouche, l'inconvénient d'être « fatales » en ce sens que toute défaillance du dispositif mis en place annihile quasi instantanément son effet.



**ECCOVERDI.** – Après tout ce que vous nous avez dit sur l'équilibre instable en ce point de Lagrange, je ne vois pas l'intérêt de telles élucubrations qui relèvent de l'utopie la plus pure. Je ne comprends pas que des scientifiques perdent leur temps à ces vaines spéculations et qu'on leur accorde des crédits pour le faire.



**SAGREDO.** – Vous n'empêchez jamais les scientifiques d'explorer tel domaine qu'il leur paraît intéressant d'étudier. Pour ma part, je vois dans ces recherches en *geo engineering* l'anticipation d'un ultime recours : des programmes qu'il faudrait mener en toute hâte, sorte de nouveaux projets Manhattan, si par malheur la température du globe se mettait à grimper inexorablement et que toute autre forme d'action se révélait inefficace.

Cette remarque conclura notre débat d'aujourd'hui. Il est temps de nous diriger vers l'embarcadère où nous attend une vedette (à moteur, désolé, Eccoverdi !) pour une promenade sur ce merveilleux lac de Côme.

**This page intentionally left blank**

## Troisième journée



SAGREDO. – Je voudrais que nous débattions, aujourd’hui, de l’énergie et je dois dire que comme pour l’environnement, mes idées sur le sujet sont assez floues. Salviati, vous me paraissez être le plus à même de préciser ce dont il s’agit.



SALVIATI. – Définir l’énergie n’est pas une tâche aisée dans la mesure où cette grandeur est perçue différemment selon que l’on est scientifique, ingénieur ou simple quidam. Pour le physicien, c’est une quantité abstraite et conservative associée à tout mouvement et à toute transformation de la matière. C’est une parfaite illustration d’un principe philosophique : le *rasoir d’Occam* selon lequel il est inutile de multiplier les entités abstraites pour rendre compte d’un ensemble de phénomènes apparemment disjoints. L’énergie prend ainsi de multiples formes dont les plus connues sont le travail mécanique, l’énergie électrique et la chaleur. Elle obéit à une loi de conservation absolument fondamentale pour l’ensemble des sciences physiques.



SAGREDO. – Pourquoi, ailleurs que parmi les physiciens, parle-t-on de produire et de consommer l’énergie, en contradiction avec la loi de conservation ?



**SALVIATI.** – L'énergie se conserve, mais aussi elle peut passer d'une de ses formes à une autre. Lorsque nous parlons de production, cela veut simplement dire qu'une transformation a eu lieu dans un sens utile à l'espèce humaine. Par exemple, une chute d'eau fait tourner une roue de moulin. Lorsque la roue entraîne un alternateur, de l'énergie mécanique a été convertie en énergie électrique.



**SAGREDO.** – Si j'utilise cette électricité et que je règle la facture correspondante, j'échange des euros contre des kilowattheures. Ce geste confère, me semble-t-il, de la matérialité à l'énergie.



**SALVIATI.** – Pas du tout. Ce ne sont que des jeux d'écriture. Lorsque vous acquittez votre facture d'électricité, vous avez rémunéré des services et le plus souvent acheté du combustible (le cas de l'hydraulique est une exception qui ne compte guère que pour moins de 10 % du total). Il faut bien acheter les hydrocarbures, le charbon ou l'uranium qui seront consommés dans une machine thermique. Celle-ci de même qu'un barrage hydroélectrique ou un champ d'éoliennes nécessite un investissement et le courant électrique produit doit être acheminé jusque chez vous de façon à vous garantir la qualité et la régularité de la fourniture. Telles sont les véritables matérialités qui se cachent derrière les chiffres.

L'énergie qui apparaît dans cette comptabilité est une simple commodité. Cette abstraction permet, en effet, de regrouper sous une même rubrique toutes les matérialités dont je viens de parler. Une abstraction qui s'achète et se vend acquiert de fait une réalité économique. Dans ce contexte seulement, production et consommation ont un sens.



**SAGREDO.** – Donc pour nous consommateurs, l'énergie se rapporte à des combustibles et des services. Je comprends mieux pourquoi sont associées à ce terme autant de questions qui fâchent. À la lecture de beaucoup d'auteurs, on retire l'impression qu'énergie et environnement forment un couple infernal.



**ECCOVERDI.** – On ne peut que leur donner raison. Nous avons besoin d'énergie pour produire ou construire, pour chauffer ou climatiser nos locaux, pour transporter les personnes et les marchandises, pour communiquer et aussi malheureusement pour détruire. Autant d'activités qui nous conduisent à épuiser les ressources et à polluer notre environnement. Les gaz à effet de serre, les déchets industriels et domestiques, les déchets radioactifs sont autant d'atteintes à l'intégrité de la nature. Et je n'aurais garde d'oublier les infrastructures : villes tentaculaires, autoroutes, voies ferrées à grande vitesse, ports maritimes, aéroports... qui incitent à une consommation d'énergie complètement déraisonnable.



**SALVIATI.** – Environ 80 % de l'énergie utilisée par l'humanité vient de combustibles chimiques fossiles : charbon, gaz, pétrole et ses dérivés. Contenant du carbone, leur combustion est pour l'essentiel à l'origine des émissions anthropiques de dioxyde de carbone, un des principaux gaz à effet de serre. Sur les 12 Gtep (milliards de tonnes équivalent pétrole) d'énergie primaire consommée en 2010, 10 sont carbonés et provoquent le rejet de quelque 29 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>.

Circonstance aggravante, ces ressources sont en quantités limitées. Prenez le pétrole : c'est aujourd'hui le combustible indispensable de notre civilisation technicienne. Sans pétrole, les transports de personnes ou de fret, qu'ils soient terrestres, maritimes ou aériens, n'auraient pas le développement que nous leur connaissons. Moins efficaces, ils seraient nettement plus onéreux. Pensez aux anciennes locomotives à vapeur brûlant du charbon comme celles qui tractaient encore les trains entre Milan et Turin au temps de ma jeunesse. Le pétrole a pris une telle importance que le cours du baril est une référence incontournable. Nous, les Européens, sommes bien placés pour savoir combien son prix pèse sur les économies de nos pays. Or à l'échelle de la planète, c'est une denrée rare.



**SAGREDO.** – Vous me surprenez ! J'ai toujours vécu dans l'idée que le pétrole, même s'il est mal réparti, est à la fois abondant et peu coûteux à extraire. Je lis partout que les réserves exprimées en années de consommation au rythme actuel sont supérieures au demi-siècle et auraient plutôt tendance à augmenter avec le temps. On nous parle souvent d'un pic pétrolier, mais cette idée, avancée par des retraités de l'industrie des hydrocarbures, ne me semble pas faire l'unanimité.



**SALVIATI.** – Et pourtant ce pic, autrement dit le maximum par lequel doit passer la quantité extraite chaque année, ne peut manquer d'arriver puisque la ressource est en quantité limitée. Un mathématicien vous dirait qu'il s'agit là de la conséquence d'un théorème relatif aux intégrales bornées. Le passage par un pic est inéluctable. Le tout est de savoir quand il se produira. Or en additionnant les réserves prouvées aux quantités déjà extraites, on trouve que tout ce liquide tiendrait dans un cube de sept à huit kilomètres de côté. Cela peut vous paraître énorme à notre échelle, mais cela ne représente que deux milliardièmes du volume de la Terre. Nous avons consommé en un siècle près de la moitié de cette réserve. Les experts les plus pessimistes annoncent l'imminence du pic, si nous n'y sommes déjà.



**SAGREDO.** – Mais n'avons-nous pas du gaz ? J'ai lu dans la presse que l'Italie en consomme de plus en plus.



**ECCOVERDI.** – Je l'ai lu aussi et le déplore. Certes le gaz naturel est une énergie relativement propre dans la mesure où sa combustion libère moins de  $\text{CO}_2$  que celle des autres fossiles pour une même quantité d'énergie fournie. La substitution du gaz au charbon et au pétrole va dans le bon sens, j'y suis favorable, mais ce ne peut être qu'une solution provisoire. Car si j'en crois Salviati, le théorème sur les intégrales bornées doit aussi s'appliquer au gaz naturel, comme du reste au charbon ou encore à l'uranium. Il est irresponsable de

persévérer dans notre façon d'exploiter les gisements de minéraux comme si nous ne savions pas que notre Terre en contient des quantités nécessairement limitées. Raison de plus pour se tourner vers les énergies renouvelables qui sont inépuisables.



SAGREDO. – Vous venez de dire gaz naturel. J'en profite pour ouvrir une nouvelle parenthèse sur le pouvoir considérable des mots. Pendant la première moitié du siècle dernier, on voyait à la périphérie de bien des villes, petites ou grandes, des usines à gaz facilement identifiables par leurs réservoirs-tampons appelés gazomètres. On y distillait de la houille. Le gaz qui arrivait chez soi était du méthane avec une certaine proportion d'hydrogène. Puis sont arrivées un peu partout dans le monde y compris en Italie, les découvertes de grands gisements dont l'exploitation fournissait un combustible moins coûteux que le gaz de houille. Pour le distinguer de celui-ci, on l'a appelé *gaz naturel*. J'ai l'impression que ce seul qualificatif lui confère une vertu écologique refusée à d'autres produits pourtant tout aussi naturels : le charbon, le pétrole et l'uranium.



ECCOVERDI. – Peut-être, mais vous conviendrez que le gaz naturel est plus propre que les autres combustibles. Par unité d'énergie produite, il émet deux fois moins de CO<sub>2</sub> que le charbon, 30 % de moins que le pétrole. Et c'est une énergie sinon sans danger, les explosions dues au gaz existent, du moins qui ne fait pas courir de risque inconsidéré. Je n'en dirai pas autant de l'énergie nucléaire, technologie mal maîtrisée qui met une véritable épée de Damoclès au-dessus de nos têtes.



SAGREDO. – Eccoverdi, vous nous avez dit tenir à ce que nous discussions de l'énergie nucléaire et vous avez avec Salviati des opinions opposées sur le sujet. Mais je voudrais que nous limitions le débat aux rapports de cette forme d'énergie avec notre environnement. Le 11 mars 2011 au Japon, un tremblement de terre suivi d'un tsunami

a fait 20 000 victimes, provoqué des incendies de raffineries de pétroles et de centrales thermiques, coupé les routes et les lignes à haute tension de toute une région, ravagé des ports, détruit en partie une centrale nucléaire (Fukushima) et plongé le pays dans la récession. Cette catastrophe entrera dans l'histoire comme l'avait fait le tremblement de terre du 1<sup>er</sup> novembre 1755 qui avait transformé Lisbonne en champ de ruines. En 1756, Jean-Jacques Rousseau, dans une lettre à Voltaire, commentait ainsi cet événement qui joue un rôle clé dans le roman *Candide* :

*« Convenez par exemple que la nature n'avait point rassemblé vingt mille maisons de six à sept étages et que si les habitants de cette grande ville eussent été dispersés plus également et plus légèrement logés, le dégât eut été beaucoup moindre et peut être nul. »*

*« Je ne vois pas qu'on puisse chercher la source du mal moral ailleurs que dans l'homme libre, perfectionné, partant corrompu. »*

Selon Rousseau qui oublie au passage que le tremblement de terre avait été suivi d'un tsunami qui avait submergé les rivages, il ne faut pas accuser la nature mais l'ordre social créé par les hommes avec leurs grandes villes. Dans le même esprit, à propos de Fukushima, on pourrait écrire cette parodie :

*« Convenez que la nature n'avait point rassemblé six réacteurs nucléaires le long du rivage et que si les générateurs d'électricité eussent été d'une autre nature, de petite taille et dispersés plus également, le dégât eut été beaucoup moindre et peut être nul. »*

Sans aller jusqu'à invoquer un principe général, on nous a beaucoup servi à propos de cette catastrophe des commentaires du style : « ah ! les ingénieurs n'auraient pas dû... ». On peut remplacer ingénieurs par financiers ou politiciens et compléter la phrase à sa convenance...



ECCOVERDI. – Ingénieurs, financiers, politiciens, tous sont fautifs. J'affirme que la catastrophe nucléaire de Fukushima était inévitable. Votre détournement de la réflexion de Rousseau me paraît tout à fait approprié. Quelle idée stupide que d'aller implanter des réacteurs

nucléaires sur un site aussi exposé ! On ne me fera jamais croire que la sismicité du Japon n'était pas archi-connue ni que l'on ne savait pas que la côte orientale de ce pays est exposée aux tsunamis. Les responsables sont coupables d'avoir associé l'appât du gain à l'immodestie technologique.



**SAGREDO.** – Je vous trouve bien sévère à l'égard de la seule industrie électronucléaire. Il semble bien, à voir les vidéos abondamment diffusées après la catastrophe, que le risque de tsunami ait été sous-évalué aussi dans la conception de l'aéroport de Sendai, d'installations portuaires, de quartiers d'habitations, de toutes les usines et raffineries implantées en bord de mer. Il y eut aussi au moins une rupture de barrage qui fit des morts.



**ECCOVERDI.** – C'est bien la preuve des méfaits du capitalisme en général. La recherche du bénéfice à court terme rend aveugle et sourd. Que l'on soit responsable politique, architecte ou encore industriel, on ne brave pas impunément les lois de la nature. Celles-ci s'imposent à nous et nous devons faire preuve d'humilité. Prométhée incarne à la fois l'orgueil et l'arrogance. Il est vain et dangereux de vouloir soumettre la nature à la volonté humaine.

Avait-on besoin d'inventer le réacteur nucléaire à fission, cette création si peu naturelle que la maîtriser semble un défi impossible à relever ?



**SALVIATI.** – Détrompez-vous Eccoverdi ! les réacteurs nucléaires à fission existent dans la nature ou du moins ont existé bien avant que les hommes en établissent le principe.



**SAGREDO.** – Eccoverdi n'a pas l'air de vous croire et je suis moi-même très surpris par cette affirmation. Je pensais jusqu'ici que l'inventeur en était celui que nous honorons en ce lieu de plus d'une manière, l'illustrissime professeur Enrico Fermi. On a donné son nom

à l'école d'été de physique ainsi qu'à l'auditorium. Que je sache, c'est tout de même bien lui qui avait réalisé la première réaction en chaîne le 2 décembre 1942 sous les tribunes d'un stade de Chicago et qui avait jeté les bases de la théorie tout en supervisant la construction des premiers véritables réacteurs qu'il appelait « piles » en hommage au comte Alessandro Volta.



**SALVIATI.** – Votre connaissance de l'histoire des sciences, Sagredo, est impressionnante, mais je vais plutôt vous parler de préhistoire. On a pu croire pendant près de 30 ans que le réacteur nucléaire était une pure invention humaine. Cette illusion a pris fin en 1972 lorsqu'en France, dans un échantillon d'uranium naturel entré dans le processus industriel de fabrication d'éléments combustibles pour des centrales électriques, on eut constaté une teneur en isotope 235 inférieure aux 0,7 % qui sont de nos jours la norme. On remonta la chaîne de production jusqu'à la mine d'Oklo au Gabon, où l'on confirma l'existence de minerais dont la concentration en 235, seul isotope à subir la fission dans nos actuels réacteurs, était très basse et qui présentaient d'autres anomalies de composition, par exemple, des éléments comme le néodyme avec des rapports isotopiques caractéristiques de conséquences de la fission.

Cette dernière propriété força l'interprétation, accueillie d'abord avec scepticisme, en termes de résidus de fissions datant de 1,7 milliards d'années au moins. On a ainsi trouvé des traces de réacteurs nucléaires naturels en divers endroits des gisements d'Oklo et du site voisin d'Okelobondo.



**ECCOVERDI.** – Quand on voit la haute technicité dont se réclame l'industrie nucléaire, votre histoire ne paraît guère croyable.



**SALVIATI.** – À l'époque dont je parle, l'uranium naturel était beaucoup plus riche que de nos jours en isotope 235 : environ 3,4 % contre 0,7 % actuellement. L'uranium 235 a en effet une demi-vie de 700 millions d'années contre 4,5 milliards pour l'isotope 238. Cela veut dire

qu'aujourd'hui, il reste la moitié de l'uranium 238 présent lorsque la Terre s'est formée mais seulement un peu plus d'un centième du 235.

Vous savez qu'un réacteur nucléaire ne peut fonctionner que si une quantité suffisante de matériaux fissiles appelée masse critique est rassemblée pour qu'une réaction en chaîne puisse être entretenue. Il faut, en outre, que soient présents en quantité adéquate des éléments susceptibles d'assurer le contrôle de la réaction de fission en maintenant un régime permanent stable. Dans la nature, les conditions de criticité peuvent se trouver réunies lorsqu'une importante concentration d'un minerai à très haute teneur et riche en 235 est fortement imprégnée d'eau. À Oklo, le minerai est par endroits d'une richesse exceptionnelle : 50 % d'uranium. On a reconnu des traces de fission dans au moins 16 emplacements regroupés en quelques secteurs.



**SAGREDO.** – Voulez-vous dire qu'à Oklo, la nature avait rassemblé des réacteurs nucléaires ?



**SALVIATI.** – Oui et par là même, elle donne tort à votre parodie de Jean-Jacques Rousseau. Mais je reviens à l'histoire de la formation et de l'évolution de ces réacteurs naturels. La reconstituer a été difficile. Le problème ne se limite pas à de la physique et sa solution passe aussi par une modélisation des événements géologiques locaux. Ainsi a-t-on acquis la certitude que la désilicification des roches environnantes a joué un rôle essentiel. On ne rencontre pas à Oklo des restes de réacteurs à proprement parler mais plutôt des zones de réaction dans des configurations limitant à une valeur extrêmement faible la puissance dégagée. Le scénario, qui s'est déroulé de façon excessivement lente, a été le suivant.

Le démarrage de la réaction en chaîne, au sein d'un massif de grès humide avec une teneur en uranium de l'ordre de 5 à 12 %, a produit une élévation de température locale à l'origine de courants de convection dans les roches alentour. À la longue, ces courants d'eau chaude ont dissous les quartz présents avec pour conséquence

des concentrations locales d'uranium dans un milieu devenu poreux et imbibé d'eau. Ce mécanisme a propagé les conditions de criticité. Il était renforcé par la grande profondeur, les couches susceptibles d'entrer en réaction à Oklo étant situées entre un et trois kilomètres sous terre. La chaleur dégagée par les réactions nucléaires s'évacuait alors plus difficilement. On a pu évaluer l'énergie produite dans un secteur du gisement. Environ 800 tonnes d'uranium ont été mises dans des conditions de criticité dont six tonnes d'isotopes 235 qui ont subi la fission. L'énergie libérée correspond à huit ans de production d'un réacteur standard à eau pressurisée (REP) de 3 GW thermiques mais étalée sur une durée de 100 millions d'années. C'est dire la modeste puissance moyenne (250 W) du processus naturel. Pas de quoi illuminer la forêt équatoriale !



**ECCOVERDI.** – D'après les dates que vous citez, on était au Précambrien. La vie se limitait à des êtres unicellulaires. La forêt n'existait pas encore.



**SALVIATI.** – L'illumination de la forêt obscure et profonde n'était qu'une image anachronique, je vous l'accorde.



**ECCOVERDI.** – Mais que sont devenus les déchets radioactifs créés par la fission ? N'ont-ils pas migré vers la surface et semé la désolation et la mort dans cette forêt équatoriale lorsqu'elle s'est constituée ?



**SALVIATI.** – Ces déchets sont restés là où ils avaient été produits, dans les entrailles de la Terre. Les analyses isotopiques sont formelles. Eussent-ils migré vers la surface qu'ils n'auraient éventuellement ajouté qu'un modeste supplément de dose dans une ambiance beaucoup plus radioactive qu'aujourd'hui. Et puis n'oubliez pas que la radioactivité décroît avec le temps. Après des millions d'années, il n'en reste plus que des traces infimes.



**ECCOVERDI.** – Ces réacteurs n'étaient peut-être pas dangereux pour la nature telle qu'elle était à l'époque. Des organismes unicellulaires peuvent sans doute mieux résister aux radiations que des créatures complexes. Rien ne prouve que si le même phénomène se reproduisait aujourd'hui, l'environnement n'en souffrirait pas. Mais si j'ai bien suivi votre raisonnement, la teneur actuelle de l'uranium en isotope 235 est insuffisante pour que l'on ait à nouveau des réacteurs naturels. Preuve est ainsi faite qu'il ne peut exister, aujourd'hui, de réacteur nucléaire sans l'industrie humaine et j'ajouterai sans le complexe militaro-industriel. Je persiste à penser que de telles machines sont trop dangereuses pour avoir leur place dans le système énergétique et je remercie le peuple italien de les avoir, par référendum, bannies de notre sol. Puissent les autres nations en faire autant !



**SALVIATI.** – Il est vrai que l'énergie nucléaire a pris son essor aux États-Unis d'Amérique pendant la Deuxième Guerre mondiale avec le projet « Manhattan ». Pour ma part, je pense que ce fut un concours de circonstances. Je ne crois pas au déterminisme historique. L'histoire aurait pu se dérouler autrement.

Je vous rappelle qu'à la fin des années 1930, c'est dans un laboratoire dédié à la recherche fondamentale que Hahn et Strassmann ont découvert la fission. Imaginez un contexte politique paisible au lieu des bruits de bottes de l'époque. Les théoriciens auraient effectué de grands calculs pour déterminer dans quelles conditions il était possible de réaliser une réaction en chaîne dont le principe avait été imaginé quelques années plus tôt par Leo Szilard. Ils se seraient rendu compte des difficultés de l'entreprise : masses de matière fissile et de modérateur à réunir, complexité du dessin qui devait à la fois être souple et garantir une certaine sécurité, coût, risques et j'en passe. Il aurait fallu quémander auprès des autorités gouvernementales des crédits pour une expérience hors de proportion avec ce qui avait été réalisé jusqu'alors, la « *big science* » n'en étant qu'à ses débuts.

Et les militaires dont on connaît le conservatisme en temps de paix auraient été plus que réticents. Au total, sans le coup d'accélérateur de la guerre, il se serait écoulé beaucoup de temps avant d'aboutir à la démonstration expérimentale de la réaction de fission en chaîne, des décennies peut-être. Les affaires auraient pu traîner jusqu'à la découverte dans la tranchée d'Oklo des réacteurs naturels dont je vous ai parlé tout à l'heure. Comme Kenneth S. Deffeyes, un auteur appartenant au monde des hydrocarbures, je ne doute pas qu'il se serait trouvé des penseurs ayant pignon sur rue pour affirmer que la nature montrait une voie qu'il devenait urgent de suivre. Des réacteurs nucléaires, quoi de plus écologique puisque naturels ?



**ECCOVERDI.** – C'est un roman de pure science-fiction que vous nous contez là. Tout le monde sait bien que l'énergie nucléaire telle que l'humanité la pratique ne pouvait naître que de la guerre et n'a de véritable justification que militaire dans une course aux armements aussi dispendieuse que stupide. D'ailleurs, comme l'avait remarqué un syndicat français, le nucléaire est la seule forme d'énergie qui ait des applications militaires directes. Ce qui la rend à la fois immorale et dangereuse.



**SALVIATI.** – Cette déclaration sur les applications militaires témoigne d'un rare aveuglement. Diriez-vous aussi que la chimie est née de la guerre que se font les hommes depuis la nuit des temps et qu'à ce titre, il faut l'interdire ? L'explosion accidentelle d'un mélange de salpêtre, de charbon pulvérulent et de soufre, dans l'ancre de l'alchimiste chinois Sun Ssu Mo a entraîné une révolution dans l'art de la guerre. Les explosifs, les armes à feu et les gaz de combat qui ont beaucoup tué et tuent toujours, il me semble, sont aussi des applications directes de l'énergie chimique.



**SAGREDO.** – On en revient à la question des mots. Je me suis toujours demandé pourquoi on use de terminologies différentes selon les

sources d'énergie. On ne parle jamais d'énergie chimique mais de charbon, de gaz ou de pétrole. On réserve le nom d'arme chimique aux gaz de combat. En revanche, on parle d'énergie nucléaire mais pas d'uranium. Et il me semble que la mauvaise réputation est attachée avant tout au mot nucléaire.



**SALVIATI.** – J'y vois un double effet : celui du business et celui de l'histoire. Le pétrole, le gaz et à un moindre degré le charbon font l'objet d'un intense commerce international : l'humanité consomme chaque année des milliards de barils de pétrole, des milliards de mètres cubes de gaz, des centaines de millions de tonnes de charbon. Le cours du baril sert de référence pour toute l'économie marchande. L'électricité nucléaire qui ne compte que pour 6 % de la consommation d'énergie à l'échelle planétaire ne demande que quelques dizaines de milliers de tonnes d'uranium par an qui donnent lieu par comparaison à un commerce insignifiant.

Et puis, il y a l'histoire. On a eu d'abord la bombe atomique à la fin de la Seconde Guerre mondiale, ensuite les applications pacifiques pour la médecine et la production d'électricité. L'énergie que l'on appelait alors atomique avait plutôt bonne presse dans les années 1950-1960. C'était l'avenir. Mais à la fin des années 1960, on a vu monter en puissance une aspiration libertaire et pacifiste : les mouvements « *peace and love* » en Amérique, mai 1968 en France, le Printemps de Prague, les manifestations d'étudiants un peu partout... Pour ces militants, l'énergie nucléaire souffrait de deux tares : ses applications militaires et pour l'électronucléaire, la puissance considérable qu'il faut donner aux réacteurs pour en assurer la rentabilité. Une telle puissance va de pair avec la centralisation de la fourniture d'électricité. L'électronucléaire était ainsi associé à des États centralisés voire autoritaires. Tout le contraire de l'esprit de 1968. Le retournement de l'opinion a commencé vers cette époque en même temps que le nom changeait, ce qui, Sagredo, va dans votre sens : d'atomique, on est passé à nucléaire, le mot qui fait peur.

Pour cette raison, il a été banni de l'instrumentation médicale. Il ne faudrait surtout pas effaroucher les patients. Alors, on a rebaptisé imagerie par résonance magnétique (IRM) la résonance magnétique nucléaire (RMN).



**ECCOVERDI.** – L'écologie politique d'aujourd'hui trouve quelques-unes de ses racines dans les mouvements qui se sont développés autour de 1970. La volonté de se débarrasser des contraintes de la société par un retour à la nature était très forte. Or, je persiste et je signe, l'énergie nucléaire est tout sauf naturelle.



**SAGREDO.** – Je pensais que Salviati nous avait prouvé le contraire avec l'histoire des réacteurs naturels d'Oklo. Mais pour rester dans le sujet de notre discussion, certains auteurs invoquent une raison différente, très prosaïque, au développement des mouvements antinucléaires. À l'époque, deux industries également puissantes, celle du charbon et celle du pétrole se livraient une féroce compétition sur le marché de l'énergie. Le charbon avait dominé la scène pendant près d'un siècle. Le pétrole devait l'emporter à partir du début des années 1970. La bataille fut rude et au passage, les belligérants avaient intérêt à ce que disparaisse un troisième larron qui était alors en pleine croissance : l'électronucléaire. On n'est pas obligé de croire à leur influence occulte sur le mouvement antinucléaire, mais elle est plausible. D'aucuns vont jusqu'à prétendre que les préoccupations environnementales ont été fortement encouragées afin de discréditer et de rendre plus coûteuse une énergie électronucléaire au développement trop rapide.



**ECCOVERDI.** – Je m'inscris en faux contre de telles insinuations qui jettent la suspicion sur les mouvements écologistes. Ils ne sont pas à la solde de quelque lobby qui les manipulerait. Ils ne réagissent pas non plus au seul pouvoir des mots. D'ailleurs, les environnementalistes ont sur la chimie en général un regard aussi suspicieux que sur le nucléaire. Je vous concède les applications guerrières des réactions

chimiques mais dans ce cas, elles ne sont pas l'essentiel. L'industrie chimique répand ses poisons partout : dans l'agriculture, dans l'alimentation, dans nos objets, dans les médicaments. Nous souhaitons en réduire considérablement le rôle dans nos sociétés comme nous souhaitons nous débarrasser de l'industrie nucléaire. Pour celle-ci, commençons par les centrales, l'armement suivra.



**SALVIATI.** – Sur ce dernier point, je suis en complet désaccord. Les antinucléaires prétendent que la centrale ne représente que le faux nez de la bombe. Or il n'est pas nécessaire de disposer de centrales pour fabriquer des bombes. On peut y arriver tout aussi bien avec des réacteurs de recherche ou même sans réacteur du tout, avec de l'enrichissement. À forcer la sortie de l'électronucléaire, les opposants risquent d'aboutir à ce qu'il ne reste de l'énergie nucléaire que la seule composante militaire. Celle-là, les gouvernements ne sont pas prêts de l'abandonner car il y va de leur prestige et dans certains cas de leur survie. Bel exemple d'assertion qui pourrait devenir auto-réalisatrice !



**ECCOVERDI.** – Une démocratie écologiste aura pour premier objectif d'éliminer les armes nucléaires.



**SAGREDO.** – On peut toujours rêver ! je crains en effet que ce propos ne dénote une certaine naïveté. Ce que vous appelez démocratie écologique pourrait dériver vers un nouveau totalitarisme avec les excès de paranoïa qui vont avec. Les dirigeants d'un tel régime, se sentant menacés, garderont les bombes laissées par leurs prédécesseurs. Si vous le voulez bien, nous reviendrons plus tard sur ces problèmes politiques. L'industrie nucléaire a, je suppose, un impact sur l'environnement. Quel est-il ?



**ECCOVERDI.** – La radioactivité qui détruit les cellules et initie les cancers. Elle intervient à tous les niveaux, de la mine aux déchets

nucléaires. Tous les êtres vivants sont susceptibles de devenir victimes des rayonnements maléfiques répandus par cette industrie.



**SALVIATI.** – À vous entendre, on dirait qu'il n'y a pas de radioactivité sans industrie nucléaire. Or c'est un phénomène naturel. Tous les êtres vivants sont plongés depuis la nuit des temps dans un bain de radioactivité. Ils sont eux-mêmes radioactifs.



**ECCOVERDI.** – Vous me surprenez ! « *Inactif aujourd'hui, radioactif demain !* », ce slogan emblématique des mouvements écologistes a bien quelque fondement scientifique je suppose, non ?



**SALVIATI.** – Il ne suffit pas de marteler à l'envi un slogan particulièrement percutant pour en faire un théorème. La radioactivité est un phénomène on ne peut plus naturel. Il a été mis en évidence en 1896, par Henri Becquerel, à Paris, à la suite d'un heureux concours de circonstances quelques semaines après la découverte des rayons X par Wilhelm Conrad Roentgen à la fin de 1895. Nous ignorions avant 1896 que nous sommes plongés dans un bain de radioactivité variable selon les lieux et l'altitude. Des désintégrations radioactives se produisent partout y compris à l'intérieur de notre propre corps. On les compte en becquerels. Un becquerel vaut une désintégration par seconde. La matière vivante des mammifères est au niveau d'une bonne centaine de becquerels par kilo.



**SAGREDO.** – Voulez-vous dire que chacun d'entre nous est naturellement radioactif ?



**SALVIATI.** – Oui et je vous laisse faire la multiplication pour ce qui vous concerne. Le public, même cultivé, ignore cette réalité. C'est la source de beaucoup d'incompréhension. Et malheureusement, les politiques appelés à prendre des décisions sont tout aussi ignares que la masse de leurs électeurs. Il sera difficile d'éduquer la génération

actuellement au pouvoir. Je souhaite que l'on pense à l'avenir en inscrivant la radioactivité au programme des leçons de choses des écoles primaires. On pourrait même en profiter pour honorer la mémoire du prix Nobel de physique Georges Charpak qui avait proposé de prendre pour unité de radioactivité le nombre de becquerels émis par l'homme moyen, 10000 est un bon ordre de grandeur, en donnant le nom de « charpak » à cette unité.



**ECCOVERDI.** – En becquerels ou en charpaks, la radioactivité sera toujours aussi dangereuse. On ne peut nier qu'elle tue. Pensez à l'hécatombe d'Hiroshima !



**SALVIATI.** – Je vais sans doute vous paraître cynique en reprenant les propos d'un physicien américain qui travaille dans les laboratoires de l'U.S. Air Force. Il m'a dit qu'à Hiroshima, la plupart des victimes ont été atteintes par les effets mécaniques de l'explosion et par un violent incendie, de ceux que les pompiers appellent tempêtes de feu. Elles seraient mortes de la même façon, assommées ou brûlées vives, si le bombardement avait été réalisé comme à Dresde ou à Hambourg avec de l'armement conventionnel de même puissance destructrice.

Dans le cas des bombes, la radioactivité a deux façons d'agir : d'abord à l'instant de l'explosion, en soumettant des individus non protégés à des doses mortelles de rayons gamma, puis à retardement par contamination ou à la suite de séjours prolongés en ambiance fortement radioactive. Elle a tout compte fait, causé bien moins de pertes que le souffle et le feu. Mais les effets de la radioactivité, minoritaires pour ce qui est des morts, ont suffi pour que les irradiés survivants auxquels on a donné le nom de « *hibakusha* » et leur descendance soient considérés au Japon comme des pestiférés. Selon les propos d'un directeur du Musée du mémorial de la Paix de Hiroshima, Koichiro Maeda :

*« Les hibakusha ont été confrontés à un degré extrême de discrimination basée sur des fondements erronés. Si l'on exposait clairement au public les effets des radiations, ce problème n'existerait plus. »*



**ECCOVERDI.** – Comment un Japonais peut-il préférer des énormités pareilles ? Le public est parfaitement au courant : la radioactivité tue de façon insidieuse en induisant des cancers incurables. Mais cela ne justifie pas la discrimination vis-à-vis des survivants d'Hiroshima.



**SAGREDO.** – Cette discrimination doit avoir une origine culturelle. Un tel comportement rappelle le système de castes qui prévalait dans l'ancien Japon où les « eta », humanité impure, vivaient à l'écart dans des ghettos. Les métiers les plus dégradants leur étaient réservés.

Contrairement à vous, Eccoverdi, je pense que c'est l'ignorance qui, à propos de la radioactivité, fait remonter à la surface de vieux ressorts tribaux. Les hibakushas en sont un exemple. Il y eut aussi le retour au Brésil des corps de techniciens décédés accidentellement d'une trop forte irradiation. Ils reçurent de la part du public le même accueil que s'ils étaient morts de la peste et qu'il convenait de s'écarter au plus vite de leurs dépouilles.

Je range dans la même catégorie l'attitude antinucléaire des Allemands car, outre le fait que l'énergie nucléaire fut en grande partie l'œuvre de ceux qui pour des raisons évidentes avaient dû fuir le pays dans les années 1930, elle s'accorde avec d'anciennes légendes germaniques. On est en plein opéra wagnérien. L'opposition entre les énergies de la nature apportées par le Soleil et le vent, et l'énergie nucléaire, produit de l'industrie des hommes, fait penser aux conflits entre d'un côté, des dieux et des Walsungen qui tirent leur légitimité de leur naissance, et de l'autre, des Nibelungen besogneux et cupides qui croient pouvoir s'enrichir par la maîtrise technologique. Est-il besoin de rappeler que personne ne sort vivant de ces drames ?



**ECCOVERDI.** – Personne ne sortira sans dommage d'une catastrophe nucléaire. Les accidents de Tchernobyl et de Fukushima prouvent notre incapacité à contrôler cette forme d'énergie. D'autres sont à prévoir qui rendront inhabitables des régions entières de notre

vieille Europe. On ne devrait jamais développer ce que l'on ne maîtrise pas.



**SALVIATI.** – Seriez-vous partisan de l'interdiction du feu ? Tous les étés, le pourtour de la Méditerranée est le théâtre d'incendies de forêts dont certains ravagent des milliers d'hectares rendus inexploitable pour des décennies. Les habitations, les installations industrielles, les navires qui brûlent nourrissent régulièrement la rubrique des faits-divers. L'espèce humaine qui sait pourtant faire du feu depuis 400 000 ans en perd bien souvent le contrôle.



**ECCOVERDI.** – L'humanité a trop besoin du feu pour qu'il soit question de l'interdire. Le risque est réel, j'en conviens, mais il est accepté. Personnellement, j'interdirais volontiers le feu explosif qui anime les moteurs de nos transports individuels. J'affirme en revanche que nous n'avons aucun besoin d'électricité nucléaire. Cela n'en vaut pas le risque et circonstance grave, nous laisserons à nos descendants un monceau de déchets radioactifs dont nous ne savons que faire et qui feront planer la menace de cancers mortels pendant des millénaires.



**SALVIATI.** – Le problème des déchets nucléaires fait l'objet d'une robuste désinformation. D'abord, les quantités sont relativement faibles quand on les compare à tous les autres déchets. En France, pays fortement nucléarisé comme chacun sait, l'industrie nucléaire produit chaque année et par habitant un kilo de déchets radioactifs dont cinq grammes de haute activité. Dans le même temps et toujours par habitant, sept tonnes de CO<sub>2</sub> sont émises ce qui est peu pour un pays développé, l'industrie produit 2,5 tonnes de déchets dont 100 kilos toxiques et l'agriculture 6,5 tonnes. Cette différence entre les ordres de grandeur tient à la concentration de l'énergie nucléaire. À masses égales en jeu, des réactions nucléaires produisent des millions de fois plus d'énergie que des réactions chimiques et la masse des déchets est évidemment proportionnelle à la masse en réaction.



**ECCOVERDI.** – Je vous arrête : les dangers des déchets de toutes sortes ne sont pas simplement proportionnels à leurs quantités respectives.



**SALVIATI.** – C'est juste et ce point fait l'objet d'après discussions entre partisans et adversaires de telle ou telle source d'énergie. N'appréciant pas plus que vous les comptabilités macabres, je ne vais pas entrer dans les querelles sur les nombres comparés de victimes qu'ont pu faire l'électronucléaire et par exemple le charbon.

À propos de ce combustible, il est intéressant de relever que la houille extraite des mines contient de l'uranium en proportion variable autour d'une moyenne égale à la teneur standard de ce métal dans l'écorce terrestre : quelques ppm. Ainsi, une tonne de charbon contient potentiellement autant d'énergie nucléaire que d'énergie chimique. Après combustion, l'uranium plus lourd se retrouve dans les cendres avec une concentration multipliée par dix. Dans le meilleur des cas, les cendres peuvent représenter un minerai exploitable. Les chinois avec leur sens ancestral de la récupération, ont déjà procédé à des essais en vraie grandeur d'extraction de matière fissile à partir de ces cendres.

Au passage, celles-ci sont un déchet radioactif de faible activité. S'il provenait de l'industrie nucléaire, il ferait à coup sûr l'objet de contrôles systématiques. Les fumées aussi sont légèrement radioactives ce qui semble ne gêner personne.



**SAGREDO.** – Mal aimé charbon qui contribua si fort à la révolution industrielle après avoir été voué aux gémonies ! Souvenons-nous de Marco Polo. Au tournant du XIII<sup>e</sup> au XIV<sup>e</sup> siècle, il nous rapporta dans *Il milione* qu'à sa grande surprise, les chinois se servaient de pierres comme combustible :

*« Par toute la province de Cathay, on tire des pierres noires des montagnes, qui, étant mises au feu, brûlent comme du bois ; et lorsqu'elles sont une fois allumées, elles gardent le feu pendant quelque temps, comme si,*

*par exemple, on les allume le soir, elles durent jusqu'au lendemain. On use beaucoup de ces pierres, surtout dans les endroits où le bois est rare. »*

Cet usage inconnu en Europe ne manqua pas d'étonner et même de scandaliser. Au XVII<sup>e</sup> siècle à Paris, les docteurs de la Sorbonne, déclarèrent que brûler des pierres, en l'occurrence la houille, était un acte impie. Et vous nous dites aujourd'hui que la combustion du charbon émet de la radioactivité.



**SALVIATI.** – Certaines centrales au charbon relâchent en effet plus de radioactivité qu'une centrale nucléaire. Mais l'industrie nucléaire produit des déchets radioactifs qui, malgré leur petite quantité sont, à des degrés variables, dangereux, plus d'ailleurs pour la santé que pour l'environnement de sorte que protéger l'une protège ipso facto l'autre.



**ECCOVERDI.** – Le problème est que l'on ne sait toujours pas comment se débarrasser de ces déchets nucléaires. Nos descendants vont devoir subir leur radioactivité pendant des centaines de milliers d'années.



**SALVIATI.** – Contrairement à ce que vous affirmez, les ingénieurs de l'industrie nucléaire savent ce qu'il faut faire pour résoudre les problèmes posés par les déchets radioactifs de haute activité. Ceux-ci comprennent essentiellement les résidus de fission contenus dans les éléments combustibles retirés du réacteur une fois l'uranium 235 épuisé. Après une phase préliminaire comportant d'abord un refroidissement en piscine puis un entreposage provisoire le temps que les éléments à vie courte décroissent, on a le choix entre trois types de solutions. Dans la première, on considère l'ensemble de l'élément combustible comme un déchet et on le stocke dans un site approprié. Dans la seconde, on traite en extrayant par voie chimique les transuraniens fissiles, essentiellement le plutonium, pour les introduire dans de nouveaux éléments combustibles. Les autres produits seront

conditionnés pour être stockés. Dans les deux cas, les déchets ultimes aboutissent dans des sites d'entreposage de longue durée, nécessairement souterrains. Le choix et l'aménagement de tels sites suscitent de vives oppositions.



**ECCOVERDI.** – Comme je les comprends ! Enfouir les déchets c'est balayer sous le tapis en plus irresponsable. C'est prendre le risque d'exposer nos lointains descendants à des doses mortelles de radioactivité. Comment pourra-t-on leur signaler un tel danger ? Des membres d'associations hostiles à l'enfouissement des déchets nucléaires ont proposé de détourner un tableau célèbre, *Le cri* d'Edward Munch, pour en faire le support d'un balisage particulièrement suggestif...



**SALVIATI.** – Quitte à vous surprendre, j'aime assez ce détournement. C'est simple et parlant. Mais peut-être faut-il garder une dose d'optimisme. D'abord, sur un plan technique la radioactivité décroît avec le temps et dans les entreposages profonds, elle est isolée par une triple barrière : vitrification, containers scellés et enfin 500 mètres de couverture rocheuse. Ensuite sur un plan que j'appellerai culturel, il n'est pas interdit de penser que les connaissances acquises de nos jours auront été correctement transmises aux générations futures qui sauront lire de tels avertissements.



**SAGREDO.** – Je remarque, en passant, que des protestations du même ordre s'adressent au stockage de CO<sub>2</sub> au sein d'anciennes poches de gaz naturel. Certains n'aiment pas sentir sous leurs pieds, même enfouies à de grandes profondeurs, des substances porteuses d'un danger potentiel.



**SALVIATI.** – Je ne vous ai pas encore parlé de la troisième solution. En irradiant avec des neutrons les éléments qui composent les déchets nucléaires, on les transforme en d'autres éléments qui peuvent être

moins radioactifs ou de période beaucoup plus courte. C'est une application des découvertes de notre grand Enrico Fermi, encore lui ! qui déclarait :

« *Donnez-moi assez de neutrons et je vous donnerai tout le tableau périodique !* »

Le propos paraît présomptueux. Il reflète pourtant la stricte vérité, mais les modalités de la fabrication des éléments, ou plus exactement de la transmutation de l'un dans l'autre à l'aide de neutrons sont un peu compliquées.



**SAGREDO.** – Pourrait-on affirmer, si j'interprète bien les dires de Fermi, qu'avec des neutrons, on pourrait transformer le plomb en or ?



**SALVIATI.** – Les transmutations induites par les neutrons sont en effet très générales et concernent tous les éléments. Changer le plomb en or est possible bien que trop dispendieux pour être rentable.



**SAGREDO.** – Ainsi les neutrons permettent de réaliser le vieux rêve des alchimistes. Pour eux les questions économiques n'avaient pas d'importance. Je doute qu'ils aient jamais pensé à une telle pierre philosophale.

Mais revenons à notre sujet. Voulez-vous dire que les neutrons permettraient d'éliminer tout ou partie des déchets radioactifs ?



**SALVIATI.** – Tel est bien le principe de la troisième solution. Sa mise en œuvre passerait par des dispositifs d'irradiation optimisés pour cette fonction. Les idées à ce sujet ne manquent pas.



**ECCOVERDI.** – Il me semble au contraire qu'en irradiant avec des neutrons, on crée de la radioactivité. Triste pierre philosophale qui rend radioactif n'importe quel matériau. Votre troisième solution est complètement irréaliste.



**SALVIATI.** – Elle est difficilement envisageable dans le cadre de la technologie actuelle de l'électronucléaire de génération 2 ou 3. La situation serait différente avec la génération 4 des réacteurs surgénérateurs qui produisent plus de matière fissile à partir des isotopes les plus abondants de l'uranium et du thorium qu'ils en consomment. La transmutation des déchets aurait tout à fait sa place dans le cycle, obligatoire, du retraitement.

Au sujet de l'irradiation par les neutrons, je n'aurai garde d'oublier les effets négatifs que soulignait Eccoverdi. Sous l'effet du bombardement neutronique, les matériaux de structure présents dans le cœur et jusqu'à la cuve d'un réacteur sont comme on dit activés, certains de leurs atomes ayant été transformés en éléments radioactifs.



**SAGREDO.** – C'est, j'imagine, la principale source des difficultés du démantèlement des réacteurs retirés du service.



**SALVIATI.** – En réalité, les problèmes les plus graves ne sont pas d'ordre technique. Ils sont surtout d'ordre juridique en raison des multiples recours déposés sous le moindre prétexte par des associations environnementales. Ces recours entravent la bonne marche des opérations de démantèlement provoquant des retards, donc une hausse sensible des coûts.



**ECCOVERDI.** – Ces associations ont raison de veiller à ce que la déconstruction des installations nucléaires ne débouche pas sur des nuisances pour l'environnement. Que les coûts grimpent n'est pas un problème dans la mesure où cela contribue à la vérité des prix de l'électronucléaire, beaucoup plus élevés que les chiffres avancés par le lobby qui cherche à imposer cette forme d'énergie.



**SALVIATI.** – Rien dans l'électronucléaire, Eccoverdi, ne semble trouver grâce à vos yeux. Et pourtant c'est, parmi toutes les sources d'énergie destinées à la production d'électricité, l'une de celles qui émettent

le moins de gaz à effet de serre par kWh. Et dans cette comptabilité, on inclut la construction d'une centrale et le cycle du combustible. Rien n'est émis pendant le fonctionnement.



ECCOVERDI. – Cet argument que le lobby nucléaire ressasse encore et encore ne tient pas la route, face à la menace permanente qu'une centrale nucléaire, nouvelle épée de Damoclès, fait peser sur l'environnement. Les réacteurs sont de plus en plus puissants donc de plus en plus dangereux. Un accident, et c'est la catastrophe planétaire !



SAGREDO. – Si les réacteurs sont de plus en plus gros, c'est pour des raisons économiques. La taille est un facteur de rentabilité. Le problème est que les investissements à consentir sont en conséquence de plus en plus lourds. C'est peu attractif pour des financiers qui recherchent la plus value à court terme. Mais les réacteurs sont construits pour durer de plus en plus longtemps. Une fois le capital amorti, les frais de fonctionnement et de maintenance sont relativement faibles et les centrales électronucléaires se transforment en efficaces « machines à cash » : on appelle cela la rente nucléaire.



ECCOVERDI. – Sauf que cette belle construction s'effondre en cas d'accident. Les pertes sont alors immenses. Il est inutile de courir ce risque.



SALVIATI. – Votre position est typique de ce que les mathématiciens connaissent sous le nom de paradoxe de Saint-Petersbourg, connu depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle. Dans un jeu que le calcul des probabilités certifie gagnant, on ne mise pas s'il existe une possibilité même infime de perte gigantesque.



SAGREDO. – Pourtant les propriétaires de casino ne ferment pas leurs établissements au motif qu'un joueur peut toujours faire sauter la banque.



**SALVIATI.** – Ils ont un comportement rationnel. La probabilité de faire sauter la banque est tellement minime qu'ils peuvent la négliger.

De la même façon, les chances sont en faveur de l'industrie nucléaire, mais celle-ci, en raison des conséquences sur les populations et l'environnement, se doit d'agir et agit effectivement pour éviter un accident grave aussi improbable qu'il puisse être. Les autorités tirent les leçons des rares accidents et renforcent en conséquence les mesures de prévention. La sûreté augmente d'une génération à la suivante. Et la voie futuriste de la fusion qui met en jeu des éléments légers est exempte du risque de catastrophe et ne produit pas de déchets radioactifs comme le fait la fission de l'uranium.



**ECCOVERDI.** – Le lobby nucléaire nous balade depuis plus de cinquante ans avec la fusion, variante soi disant « propre » d'énergie nucléaire. Les recherches sur le sujet coûtent de plus en plus cher et marquent le pas. Le coût du réacteur expérimental ITER explose pour ne même pas produire d'électricité. Tout cet argent serait bien mieux utilisé à développer des énergies renouvelables, plus douces, plus sûres et de surcroît inépuisables.



**SALVIATI.** – Je suis d'accord sur un seul point avec Eccoverdi. Les recherches sur la fusion tardent à donner naissance à des générateurs d'énergie électrique. C'est que les problèmes scientifiques et techniques à résoudre étaient beaucoup plus ardues qu'on ne l'imaginait au départ dans l'euphorie du développement exceptionnellement rapide de l'électronucléaire de fission : une dizaine d'années entre la première réaction en chaîne réalisée par Enrico Fermi et les premiers réacteurs producteurs d'électricité. Or, mettre un temps considérable pour passer d'une idée à des applications pratiques n'a rien d'anormal. On compte près d'un siècle entre la marmite de Papin et la machine à vapeur à double effet de Watt, et autant entre la pile de Volta et la distribution généralisée de l'énergie électrique. Au plus tôt,

la fusion nucléaire sera disponible au cours de la seconde moitié du XXI<sup>e</sup> siècle.



**ECCOVERDI.** – D’ici là les énergies renouvelables auront, je l’espère, pris la première place et il sera inutile de recourir à cette source d’énergie désormais inutile. Dans le même temps, l’énergie nucléaire de fission et les combustibles fossiles auront été progressivement éliminés. Mais je reconnais que ce règne sans partage des renouvelables sera indirectement celui de la fusion qui fournit l’énergie rayonnée par le Soleil. La surface terrestre en reçoit des quantités considérables. Elles représentent à chaque instant une dizaine de milliers de fois la consommation totale de l’humanité.



**SALVIATI.** – Il ne faudrait pas oublier que cette énergie est nécessaire au bon fonctionnement de la machine climatique. Pour les besoins de l’humanité, on ne pourra en prélever qu’une part modeste, certainement inférieure au millième de la puissance maximale reçue, ce qui laisse tout de même une marge importante.



**ECCOVERDI.** – Il n’y a aucun doute là-dessus : les renouvelables peuvent suffire à tous les besoins en énergie, actuels et futurs, d’une humanité respectueuse de l’environnement et qui d’abord aura su restreindre sa consommation. Tel est le défi de la transition énergétique que nous appelons de nos vœux.



**SAGREDO.** – Même si comme je le rappelais hier, on a entendu un président des États-Unis déclarer que le mode de vie américain n’est pas négociable, j’ai l’impression qu’un consensus existe pour préconiser une meilleure utilisation de l’énergie.



**SALVIATI.** – Ce consensus recoupe une tendance à long terme. L’intensité énergétique définie comme l’énergie nécessaire à un point de PIB, suit une courbe d’apprentissage universelle qui après un

maximum décroît mais trop lentement sans doute dans la perspective d'une transition énergétique.



**SAGREDO.** – Un signal prix bien ciblé peut apporter une contribution significative comme le prouve l'exemple de la crise de 1973. Lorsque se produisit le quadruplement des prix du pétrole, les pays de l'OCDE connurent une brève période de récession après quoi leur PIB reprit sa croissance au même rythme qu'avant tandis que la consommation d'énergie stagnait. La hausse importante du cours du baril au début du XXI<sup>e</sup> siècle semble ne pas avoir eu le même effet. Aurait-on perdu la recette ?



**SALVIATI.** – Il est vrai que dans bien des pays développés, le PIB stagne en raison entre autres d'une énergie chère. Les États-Unis sont une exception notable. C'est la conséquence de la mise en exploitation d'importants gisements de gaz non conventionnels, ce qui a eu pour effet d'abaisser le coût de l'énergie.



**ECCOVERDI.** – Mais le prix à payer est une véritable catastrophe écologique, comme en témoigne le film *Gasland*. Le chantier permanent et la pollution des nappes phréatiques par la fracturation hydraulique sont autant d'atteintes intolérables à l'environnement. L'Europe entière devrait suivre l'exemple de la France et interdire ces pratiques.



**SALVIATI.** – Le cas des gaz de schiste, autre nom de ces gaz non conventionnels, est instructif à plus d'un titre. En plus d'un sujet pour films militants, ils ont fourni aux États-Unis une énergie peu coûteuse qui s'est substituée au charbon pour la production d'électricité. L'émission de gaz à effet de serre en a été diminuée d'autant. Mais l'extraction du charbon américain continue. Des quantités considérables se trouvent ainsi disponibles à bas prix sur le marché. Une partie va, par exemple, en Allemagne qui construit activement des

centrales à charbon pour prendre la place des centrales électronucléaires éliminées pour des raisons à la fois politiques et culturelles. Les émissions de CO<sub>2</sub>, réduites en un endroit de la planète, augmentent ailleurs.



**SAGREDO.** – Si elles ne sont pas concertées entre les différents pays, les solutions locales apparaissent inopérantes pour résoudre des problèmes qui se posent à l'échelle planétaire. Substituer le gaz au charbon est en soi une bonne idée. Encore faudrait-il qu'elle soit appliquée partout. Or, c'est d'autant moins le cas que le charbon regagne d'importantes parts de marché.



**ECCOVERDI.** – Les organisations écologistes elles aussi préconisent dans un premier temps la substitution du gaz au charbon. L'Europe est à portée de pays producteurs disposés à lui vendre leur gaz naturel ; on les trouve en Russie, en Asie Centrale et en Afrique du Nord.



**SALVIATI.** – Comme Sagredo, j'observe que les mots font la différence. Le gaz est diabolisé quand il est de schiste. Quand il est naturel, il devient écologique. Ne dites surtout pas que c'est du méthane, ce redoutable contributeur à l'effet de serre !



**SAGREDO.** – Toute sémantique mise à part, je vois un double obstacle à l'entrée de l'Europe dans ce que l'Agence internationale de l'énergie appelle l'« âge d'or du gaz » : économique si les contrats passés avec les producteurs continuent d'être à long terme, avec des prix indexés sur le cours du pétrole ; politique en raison de la dépendance accrue par rapport aux fournisseurs dont le fameux conglomérat russe Gazprom. L'importance de celui-ci est renforcée par la mise en service déjà acquise ou programmée de gazoducs tels *North stream* et *Blue stream*. Les Russes auraient-ils découvert que pour dominer l'Europe, Gazprom est bien plus efficace que le marxisme léniniste ?



**SALVIATI.** – Dans ce contexte, le charbon n'est une source d'énergie économique pour produire de l'électricité que dans la mesure où rien n'est fait pour éliminer le CO<sub>2</sub> émis en grande quantité lors de la combustion. Mais si l'on propose de mettre en service des pilotes pour le captage du carbone et sa séquestration (CCS), les associations environnementales montent au créneau. Où est la cohérence ?



**ECCOVERDI.** – Séquestrer le CO<sub>2</sub> dans d'anciennes poches de gaz ou de pétrole, ou encore dans des couches profondes d'aquifères salins conduit à des modifications de l'environnement naturel dont nous ignorons les conséquences. Le principe de précaution s'impose à nous. De toute façon, l'âge d'or du gaz n'aura qu'un temps et il faudra bien en venir aux renouvelables. Autant commencer le plus tôt possible. Le vent, le Soleil et la mer sont les sources d'énergie de demain. Ils ont en plus l'avantage de la gratuité.



**SALVIATI.** – Je trouve cet avantage illusoire. Le charbon, les hydrocarbures et l'uranium sont tout aussi gratuits. Ils sont à notre disposition dans les plus ou moins grandes profondeurs de la Terre. Le coût de ces combustibles est en réalité le coût de leur extraction, de leur mise en condition et de leur acheminement. Les renouvelables n'échappent pas à la nécessité de payer pour extraire la puissance du vent, du Soleil et de la mer. Il faut bien construire, assurer la maintenance et le renouvellement des éoliennes, des panneaux photovoltaïques ou des dispositifs à concentration, des hydroliennes... sans compter les lignes à haute tension pour distribuer l'électricité produite.



**SAGREDO.** – Dans cette discussion sur les renouvelables, vous oubliez la biomasse, y compris le travail animal et humain. Avec le vent qui souffle et l'eau qui coule, elle compte parmi les plus anciennes sources d'énergie utilisées par l'homme. La biomasse, ce sont les bûches et les fagots que l'on brûle, les cultures destinées à produire des carburants, les déchets que l'on destine à la méthanisation. Ce sont aussi les

animaux de selle et de trait et tous les êtres humains qui dans leur travail font usage de leur force physique. La mécanisation ne les a pas remplacés partout.



**SALVIATI.** – La biomasse énergie s'intègre dans un cadre général de valorisation de la nature. Le problème vient du conflit d'utilisation des sols avec les cultures alimentaires. En Europe avant la révolution industrielle, on consacrait environ 20 % des terres cultivées à la nourriture des chevaux et des bœufs. Cette proportion de 20 % des terres cultivées sert de référence pour évaluer la part que pourrait prendre la biomasse parmi les sources d'énergie de l'avenir. C'est la superficie à ne pas dépasser. Moyennant quoi, l'énergie primaire fournie par la biomasse pourrait doubler d'ici 2050.



**ECCOVERDI.** – Voilà qui va dans le bon sens. D'autant que si l'on appliquait les recommandations des écologistes, la consommation d'énergie à cette date ne devrait pas dépasser celle de l'an 2000. S'agissant des autres renouvelables, nos préférences vont à l'éolien et au solaire, énergies d'avenir qui ont la vertu d'être décentralisées donc susceptibles de faire l'objet d'un contrôle démocratique local. Elles sont aussi utilisables à l'échelle individuelle.



**SAGREDO.** – J'observe cependant que pour la production d'électricité, on s'oriente plutôt vers des installations d'une certaine importance raccordées au réseau. Encore un paradoxe ?



**ECCOVERDI.** – Non car il est nécessaire d'encourager une industrie naissante. Le raccordement au réseau permet d'instituer des tarifs de rachat avantageux qui sont une puissante incitation pour des entrepreneurs.



**SAGREDO.** – Malheureusement, cette incitation vaut aussi pour d'autres investisseurs, moins recommandables. Il semblerait que Cosa

nostra ait trouvé là un moyen de blanchir des fonds d'origine douteuse.



**ECCOVERDI.** – Cela n'empêche pas éolien et solaire d'être les symboles d'une nouvelle modernité. Il suffit de voir les affiches, les tracts et les couvertures de livres consacrés au futur énergétique. Les éoliennes y sont toujours représentées en bonne place.



**SAGREDO.** – Cette omniprésence des éoliennes, symbole d'avenir, est assez surprenante dans la mesure où les moulins sont connus depuis l'Antiquité. Des moulins à vent rudimentaires fonctionnaient dans l'ancienne Perse dès le VI<sup>e</sup> siècle avant notre ère si ce n'est plus tôt. On en a beaucoup construit en Europe vers le XII<sup>e</sup> siècle, époque de grande créativité technologique. En Europe du Sud, ils servaient à moudre du grain. Aux Pays-Bas, assécher les polders était une question de survie et jusqu'au XIX<sup>e</sup> siècle, ce sont des moulins à vent qui ont fourni la puissance nécessaire à cette tâche. La silhouette de ces machines du temps passé n'a rien à voir avec celle de nos modernes aérogénérateurs destinés à produire du courant électrique.



**ECCOVERDI.** – L'intérêt actuel pour l'énergie éolienne provient du besoin d'élaborer des systèmes d'énergie propre et durable. Une éolienne ne produit aucun rejet nocif pour la santé et l'environnement, ni pour les riverains, ni pour les générations futures. Souvent, elle s'intègre harmonieusement dans le paysage.



**SAGREDO.** – Votre dernière affirmation concerne une question controversée. Il n'est pas rare qu'un projet d'implantation d'éoliennes rencontre une opposition déterminée, y compris, plus souvent qu'on ne croit, de la part d'écologistes patentés. Comme le vent est plus fort et plus régulier sur les hauteurs, on prévoit souvent de disposer les éoliennes sur les lignes de crête. Vous imaginez des batteries

d'éoliennes sur les sept collines de Rome ? ou sur toutes les montagnes qui entourent ce lac ?



**SALVIATI.** – L'esthétique des aérogénérateurs est une affaire de jugement individuel qui peut être nuancé. Ainsi, il m'arrive d'attribuer à certains une réelle élégance et de me montrer réticent devant une forêt d'éoliennes. Le plus grave défaut de ces générateurs réside dans l'intermittence de la production électrique. Le vent est irrégulier à toutes les échelles de temps, de la fraction de seconde à l'année. Toutefois, les éoliennes ont une inertie qui élimine les fluctuations les plus rapides. Quelques chiffres sont ici nécessaires. Les variations de la vitesse du vent sont souvent très brutales, passant de 5 à 10 m/s en dix minutes. Il arrive aussi qu'il n'y ait pas de vent au cours des périodes anticycloniques qui sont plus ou moins longues. Cet effet est amplifié au niveau de la génération d'électricité. En effet, les aérogénérateurs ne débitent du courant que si le vent a une vitesse supérieure à 4 m/s (soit environ 14 km/h) et, pour des raisons de sécurité, il convient de mettre les hélices en drapeau lorsque la vitesse dépasse les 25 m/s (90 km/h). La puissance nominale correspond à une vitesse du vent de 15 m/s (52 km/h, force 7 sur l'échelle de Beaufort) et c'est un maximum. De tels vents sont rares sur nos côtes, encore plus à l'intérieur des terres. En fonction du temps, la puissance a une allure très chahutée. Un graphique montre une sorte de peigne irrégulier. Les dents sont inégales aussi bien par leur hauteur que par leur largeur et leur espacement.



**ECCOVERDI.** – Mais ce qui est vrai pour un générateur ne l'est pas pour un ensemble, encore moins pour des champs d'éoliennes implantés sur des sites éloignés les uns des autres et dont les productions peuvent se compenser. Le vent souffle toujours quelque part. La complémentarité entre régimes de vent va se traduire par un foisonnement bénéfique.



**SALVIATI.** – Beaucoup moins que vous le pensez. Prenez notre continent : les données disponibles permettent de tracer l'évolution en fonction du temps des productions cumulées des champs d'éoliennes de toute l'Europe occidentale. Le résultat est tout aussi irrégulier que si l'on avait affaire à un seul aérogénérateur. Le territoire n'est pas suffisamment étendu pour que les régimes de vent soient très différents d'un pays à l'autre. L'Espagne est une exception relative car elle bénéficie de vents un peu plus réguliers mais le plus souvent, les fluctuations de grande amplitude s'y produisent en même temps qu'ailleurs. Avant la crise de 2008-2009, ce pays avait fortement développé ses capacités électriques en misant sur l'éolien : 15 GW d'aérogénérateurs ont été installés, mais il a fallu mettre en place la même puissance en gaz afin de lisser la production. L'Espagne est devenue importatrice de gaz et ses émissions de CO<sub>2</sub> ont augmenté.



**SAGREDO.** – Si je vous suis bien, en Espagne, la Manche se couvre de ces nouveaux moulins à vent. Mais que font donc les successeurs de Don Quichotte ?



**SALVIATI.** – Instruits sans doute par l'expérience du chevalier à la triste figure, ils ne combattent qu'à distance. Leurs arguments portent essentiellement sur les effets de l'intermittence. On en revient toujours là. Les éoliennes débitent la plupart du temps une puissance très inférieure à la valeur nominale. Quel que soit le pays d'Europe, le facteur de charge, rapport de la puissance moyenne obtenue pendant une durée donnée (souvent l'année) à la capacité nominale installée, se situe autour de 20 % dans le cas des parcs éoliens à terre. En Allemagne, on a relevé de 16 à 24 % suivant les années. On espère obtenir au moins 30 % dans les parcs off-shore que l'on commence d'édifier au large des côtes. Les thuriféraires de l'éolien commencent à grand bruit lorsqu'en Espagne, de nuit pendant un week-end, la puissance débitée dépasse une heure durant la moitié de cette

demande minimale. On ne les entend plus pendant les périodes anti-cycloniques où la production est nulle.

Avec l'extension croissante de l'éolien, les gestionnaires de réseau vont se trouver confrontés à de redoutables problèmes. Leurs difficultés seront encore accrues avec le solaire photovoltaïque dont la production électrique aussi est intermittente et le facteur de charge ne dépasse pas 10 %.



**SAGREDO.** – Avant de discuter plus avant de ces problèmes d'intermittence, ôtez-moi d'un doute. On dit souvent que les pales des éoliennes constituent un redoutable danger pour les oiseaux. Je n'aimerais pas voir des oies cendrées se faire massacrer lorsque leur itinéraire de migration traverse un champ d'aérogénérateurs.



**ECCOVERDI.** – Il est au contraire prouvé que les éoliennes ne représentent pas un réel danger pour les oiseaux migrateurs. Ils savent éviter les obstacles.



**SALVIATI.** – Dans le cas des oiseaux, il convient surtout de relativiser. Je vais emprunter une comparaison très britannique à David MacKay, professeur de la célèbre université de Cambridge. La Grande-Bretagne est, comme vous le savez, un pays où de vieilles anglaises ont la passion des chats. Or ces animaux, domestiques parce qu'ils le veulent bien, ont gardé leurs instincts de prédateurs. On admet que, bon an mal an, un chat normalement constitué inscrit à son tableau de chasse une bonne centaine de petits oiseaux. Multipliez par le nombre de mémères à chats et vous obtenez une hécatombe qui dépasse de plusieurs ordres de grandeur les ravages potentiels de l'ensemble des fermes éoliennes du Royaume-Uni.



**ECCOVERDI.** – Que voilà un excellent argument pour déconstruire un mythe attaché aux éoliennes ! et je vous remercie de nous le faire connaître. Il faudra me donner la référence car vous pensez bien

qu'avec votre permission, je resserrai cette mise en perspective assortie d'un trait d'humour.

Je ferme la parenthèse ouverte par Sagredo pour revenir à l'intermittence. Celle du photovoltaïque est en grande partie prévisible. L'alternance des jours et des nuits et la succession des saisons sont parfaitement connues en n'importe quel endroit du globe. En revanche, le passage des nuages est aléatoire. Lorsque l'on regarde les intermittences du Soleil et du vent, elles peuvent se compléter de plus d'une manière : soleil du jour et vent de la nuit, soleil d'été et vent d'hiver, soleil d'ici et vent de là-bas. En Allemagne, on a beaucoup réfléchi à ces problèmes. Des solutions commencent à se faire jour : éoliennes en mer Baltique, photovoltaïque en Bavière, land dépourvu de vent mais bien ensoleillé. Un projet comme DESERTEC devrait susciter l'enthousiasme des investisseurs.



**SALVIATI.** – Il est douteux qu'éolien et solaire puissent à eux seuls fournir dans de bonnes conditions l'électricité dont l'humanité a besoin. Le problème est à chaque instant de répondre à la demande à des coûts supportables. En outre, les gestionnaires de réseaux sont tenus par contrat de satisfaire la demande avec un haut degré de fiabilité. Comment faire avec des énergies intermittentes, fatales en ce sens qu'il faut accepter leur production telle qu'elle se présente sinon, elle est perdue. Les compensations promises par le foisonnement sont illusoire. Restent des palliatifs : stockage, importations ou centrales thermiques supplétives.

Le cas de l'Allemagne est singulier. On n'imagine pas que les Allemands renoncent à leurs grosses berlines. Le tournant énergétique appelé « *energiewende* » ne concerne en fait que la production d'électricité. Il prévoit essentiellement un basculement vers les renouvelables de la production d'un électronucléaire condamné, par idéologie, à disparaître. D'ores et déjà, la capacité renouvelable installée représente une puissance comparable à la demande moyenne. Elle va continuer de croître avec les projets éoliens en mer du Nord

et en Baltique, ce qui va se traduire par des pics de surproduction. Or, l'Allemagne est dépourvue de moyens de stockage d'énergie et ne dispose pas d'un réseau de transport efficace entre le Nord et le Sud du pays. Les projets de lignes à grand débit se heurtent à de fortes oppositions locales. Du coup, en raison des lois de Kirchhoff relatives aux circuits électriques, les voisins interconnectés sont automatiquement mis à contribution. Les réseaux de la Pologne et la République tchèque aident à véhiculer la puissance depuis les champs d'éoliennes du Nord vers les industries bavaroises ou les STEP autrichiennes. Mais les Tchèques et les Polonais installent des déphaseurs aux frontières afin de pouvoir déconnecter leurs réseaux si, en cas de surproduction en Allemagne, la situation chez eux devenait incontrôlable.



**SAGREDO.** – La prééminence accordée aux renouvelables en Allemagne a aussi des conséquences économiques. Les gestionnaires de réseau adaptent la production à la demande en mettant en service les générateurs dans l'ordre des prix de revient croissant. Lorsque les pouvoirs publics subventionnent les renouvelables, le courant qu'ils fournissent est à chaque instant admis prioritairement sur le réseau. Sur le marché, le prix correspondant est considéré comme nul. Dans l'ordre des prix croissants, la production à partir du lignite et du charbon vient juste après les renouvelables. Ces combustibles sont très bon marché, situation renforcée en raison d'une part de l'exploitation des gaz de schistes aux États-Unis et d'autre part de l'effondrement sur le marché européen du cours de la tonne de carbone émise. Le temps d'utilisation des autres générateurs s'en trouve réduit, d'autant plus que le coût de la puissance qu'ils fournissent est élevé. En Allemagne, on construit de nouvelles centrales à charbon et les centrales à cycle combiné à gaz ferment, faute de pouvoir être appelées pendant des temps suffisamment longs pour être rentables. C'est un des problèmes auxquels sont confrontés les opérateurs qui, en raison de l'intermittence, doivent aussi gérer des fluctuations très rapides sur une plage étendue de variation de puissance. Conséquence

environnementale de tout cela, les émissions de CO<sub>2</sub> augmentent dans l'indifférence générale.



**SALVIATI.** – On ne voit pas comment elles pourraient décroître sauf à diminuer la production d'énergie électrique. C'est la ligne choisie par les planificateurs allemands qui annoncent, pour 2050, une production deux fois moindre qu'aujourd'hui mais la consommation ne serait amputée que d'un quart. Le déficit serait couvert par des importations en provenance des pays voisins.



**SAGREDO.** – Sur un tel programme, je doute de la coopération de voisins qui en plus d'absorber les pics de surproduction renouvelable devraient combler le déficit global. C'est comme pour DESERTEC, une idée brillante qui bute sur des obstacles d'ordre géopolitique.



**ECCOVERDI.** – DESERTEC est pourtant un concept magnifique. Pour exploiter au mieux le rayonnement solaire, rien ne vaut un désert. L'air y est très sec et les nuages y font des apparitions rarissimes. Le Nord de l'Afrique et le Moyen-Orient comportent de vastes zones désertiques. Le seul aléa climatique est fait de vents de sable dont il n'est pas interdit de penser que l'on saura en minimiser les effets. Des étendues immenses peuvent être recouvertes de panneaux photovoltaïques ou de miroirs concentrateurs de lumière. DESERTEC associe l'Europe, les autres riverains de la Méditerranée et les pays du Moyen-Orient autour des énergies renouvelables avec un réseau de lignes électriques à faibles pertes et grande capacité pour distribuer, au mieux dans tout cet espace, l'électricité éolienne du Nord et l'électricité solaire du Sud. Ce projet apporte l'espoir d'une coopération harmonieuse entre États.



**SAGREDO.** – Les pays du Sud ne manifestent guère d'enthousiasme pour un tel programme. D'aucuns y voient une nouvelle forme de colonialisme. Outre son coût faramineux, le projet va affronter un

contexte politique défavorable. Les sources de conflit abondent. L'Algérie a déjà refusé de participer. La Libye et l'Égypte sont en plein chaos. Et puis, pensez-vous que la France, l'Italie et d'autres pays par où passeraient les lignes à haute tension, résisteraient à la tentation d'exercer un lucratif droit de péage ?



**SALVIATI.** – Curieusement, un projet de type DESERTEC a plus de chance d'être réalisé aux États-Unis qu'en Eurafrique. Des générateurs solaires implantés dans les déserts du Sud-Ouest pourraient très bien alimenter la côte est en électricité. Le décalage horaire est dans le bon sens : le milieu de journée à l'ouest coïncide avec la fin de l'après-midi à l'est. Mais les réseaux américains actuels, mal interconnectés, sont, de notoriété publique, dans un état assez lamentable. Un réseau de transport à faibles pertes est à créer de toutes pièces. Des conditions favorables se rencontrent également en Chine et en Australie.

Parmi les projets futuristes à l'avenir incertain, le solaire spatial a aussi ses promoteurs et ses pionniers. L'exemple vient des vaisseaux spatiaux comme la Station spatiale internationale qui tirent leur énergie de cellules solaires. Mettre en orbite des panneaux photovoltaïques, reliés à des récepteurs terrestres par des faisceaux hertziens ou des lasers, permettrait de s'affranchir de l'alternance des jours et des nuits, principal inconvénient des installations à terre.



**SAGREDO.** – Tant que le coût de la mise en orbite restera au niveau de \$ 20 000 le kilo, ces projets n'ont aucune chance d'aboutir. Et je note que les performances des propulseurs spatiaux stagnent depuis de nombreuses années.



**SALVIATI.** – À court terme, le développement des renouvelables intermittents pour la production d'électricité implique des centrales thermiques supplétives ou bien du stockage. Dans le premier cas, on peut avoir des doutes sur le bilan carbone, sauf à utiliser des combustibles issus de la biomasse. Dans le second, plusieurs dispositifs sont

concevables. Certains ont déjà fait leurs preuves. Stocker l'électricité par voie électrochimique (batteries) est coûteux, mais reste une solution à petite échelle. Les piles et les batteries que nous connaissons depuis longtemps conviennent très bien aux montres à quartz, aux téléphones cellulaires, aux ordinateurs portables, aux voitures pour alimenter les démarreurs. Un pas vers de plus grandes capacités de stockage a été franchi avec les batteries des véhicules hybrides ou purement électriques. On imagine très bien que leur charge pourrait s'effectuer préférentiellement pendant les pics de surproduction renouvelable. Je rappelle que les plus grosses batteries d'accumulateurs ont été réalisées pour équiper des sous-marins, usage où le coût est d'une importance secondaire.

En matière de stockage d'énergie, chaleur, hydraulique, hydrogène offrent des possibilités, à mon sens, plus intéressantes. Les quantités stockées peuvent être aussi grandes qu'on le veut.



**ECCOVERDI.** – Le stockage de chaleur fait partie intégrante d'une variante de solaire à concentration puisque le rayonnement est focalisé sur un fluide caloporteur qui sera la source chaude d'une machine thermique. En jouant sur les circulations et l'inertie calorifique, il sera possible d'obtenir une fourniture d'électricité étalée sur 24 heures. L'autre variante est le moteur Stirling sur lequel le rayonnement agit directement. Ces moteurs sont très simples, de bon rendement et leur maintenance est minimale. Mais la fourniture d'électricité est limitée aux heures de jour.



**SALVIATI.** – Stockage et réseaux de chaleur sont importants pour l'économie générale de l'énergie. On se préoccupe de plus en plus de valoriser les chaleurs fatales. Les lois de la thermodynamique nous disent que dans les moteurs thermiques, la conversion de chaleur en travail se fait avec un rendement nécessairement limité. On commence à généraliser ce qui se fait dans nos voitures, chauffées en récupérant une partie de la chaleur dissipée dans le moteur. Les

centrales thermiques à combustible fossile ou nucléaire sont des sources de chaleur trop peu exploitées. Dans le même esprit, bien des appareils électriques ou électroniques dissipent de la chaleur que l'on pourrait récupérer à l'exemple de la tour Elithis à Dijon en France, où les appareils à rayons X d'un cabinet de radiologie contribuent de façon significative au chauffage de l'immeuble.

Le stockage hydraulique est une option sérieuse pour de grandes quantités d'énergie. Dans les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP), des pompes recevant leur puissance de sources intermittentes, éoliennes ou solaires, font au moment des pics de production passer l'eau d'un réservoir inférieur à un réservoir supérieur d'où elle pourra être turbinée en sens inverse pour fournir de l'électricité lorsque la puissance des renouvelables fait défaut. Un tel système est utilisé en Suisse pour des raisons purement économiques. Le pompage a lieu aux heures creuses lorsque l'électricité nucléaire venue de France est disponible à bas prix sur le marché. Le turbinage intervient aux heures de pointe afin de vendre du courant à l'Italie, en lui appliquant un tarif nettement plus élevé. Ce commerce extrêmement lucratif pourra se développer avec la surproduction attendue des générateurs renouvelables d'Allemagne.



**ECCOVERDI.** – Les écologistes désapprouvent ce qu'il est convenu d'appeler le grand hydraulique. Les STEP en font partie. Les barrages qu'il faut construire avec leurs lacs de retenue sont destructeurs d'écosystèmes. Au surplus, l'exemple helvétique est moralement détestable. Il vaudrait mieux, au contraire, décourager de telles spéculations.

L'hydraulique c'est bien à condition de respecter les écosystèmes, ce que peuvent faire de petites installations au fil de l'eau. Cette réflexion nous conduit à un point fondamental. Les renouvelables permettent, au-delà de la décentralisation, une individualisation de la production d'énergie. Je rêve d'un habitat où chaque maison ou immeuble serait autonome. Les moyens existent à cette échelle. Le choix est vaste : éoliennes pour l'électricité, panneaux solaires pour

la chaleur et aussi l'électricité, forages pour la géothermie, éventuellement de petits générateurs hydroélectriques au fil de l'eau s'il existe un cours d'eau à proximité, le tout complété par des batteries pour régulariser la fourniture de courant. Une telle organisation stimulerait la responsabilité écologique de chacun.



**SAGREDO.** – Comment dans ces conditions concevez-vous l'alimentation en électricité d'une mégapole ou de gros consommateurs comme, par exemple, un complexe industriel, un aéroport international ou encore un réseau de trains à grande vitesse ?



**ECCOVERDI.** – D'abord, en ce qui concerne les transports, avons-nous vraiment besoin de tout ce trafic aérien et sur les rails, de grande vitesse ? Mais c'est un autre débat. Les chemins de fer électrifiés sont en effet demandeurs d'une importante fourniture de courant. Les exemples que vous citez montrent que la production d'électricité ne pourra pas venir uniquement d'une multitude de petits générateurs individuels. Y contribueront aussi de grands producteurs comme de vastes fermes éoliennes, de l'électricité solaire venue d'ailleurs si DESERTEC se concrétise, des centrales thermiques utilisant directement ou indirectement la biomasse ou encore l'hydrogène. Tous les générateurs, quelles que soient leurs tailles, seront raccordés à un réseau intelligent comprenant des dispositifs de stockage et capable sur un vaste territoire d'ajuster à chaque instant l'offre à la demande. Un mode de stockage performant sera, comme le préconise Jeremy Rifkin, la fabrication d'hydrogène par électrolyse de l'eau lors des inévitables pics de surproduction renouvelable. Cet hydrogène est un combustible susceptible de faire tourner les moteurs des véhicules mais aussi de brûler dans des centrales thermiques lorsque les renouvelables ne débitent pas. L'hydrogène génèrera un cycle vertueux. Sa combustion donne de la vapeur d'eau qui en se condensant retombe sur Terre et revient dans les bacs à électrolyse qui restituent l'hydrogène.



**SAGREDO.** – Cela fait des décennies que l'on nous parle de la civilisation hydrogène. Le moins que l'on puisse dire est qu'elle tarde à venir. Serait-ce en raison de la mauvaise réputation de l'hydrogène en matière de sûreté ?



**ECCOVERDI.** – Cette réputation est largement surfaite. Elle est entretenue par le souvenir du sort funeste d'un Zeppelin qui avait pourtant causé moins de morts que n'en fait le « crash » ordinaire d'un avion de ligne. Prenez n'importe quel hydrocarbure. Mettez-le en présence d'oxygène avec les proportions convenables : le mélange est tout aussi explosif que le mélange détonant de deux volumes d'hydrogène et un d'oxygène.



**SALVIATI.** – Il manque surtout la preuve de la viabilité technique et économique de la civilisation hydrogène. Mais une politique volontariste de développement des énergies renouvelables intermittentes implique l'installation de surcapacités éoliennes et solaires : un facteur 4 pour une fourniture d'énergie éolienne correspondant à la puissance moyenne ; un facteur vingt si la puissance fait l'objet d'une clause de garantie entre gestionnaire de réseau et clientèle. Produire de l'hydrogène est une façon d'utiliser les surcapacités dans un jeu où cette carte est plus ou moins forcée. Et tant pis si les rendements tout au long du cycle vertueux dont parlait Eccoverdi sont trop mauvais pour en garantir la rentabilité.



**SAGREDO.** – Les pays qui ont encouragé un déploiement massif des renouvelables ont rapidement pris conscience du gouffre financier où cela les entraînait. Les subventions indirectes par des tarifs de rachat avantageux ont été revues partout à la baisse. Est-ce que baser une politique énergétique sur le couple formé par les renouvelables et l'hydrogène n'implique pas automatiquement des coûts exorbitants ?



ECCOVERDI. – Je ne le crois pas. Le vent et le rayonnement solaire sont, je le répète, gratuits. L'eau dont on extrait l'hydrogène aussi. Et puis, même si les investissements dans les aérogénérateurs et les panneaux photovoltaïques sont un peu élevés, la protection de l'environnement est à ce prix. Les problèmes que les énergies intermittentes semblent poser aux gestionnaires de réseau ne devraient pas être insolubles. L'imagination et les moyens financiers ne leur feront pas défaut.



SAGREDO. – À condition de ne pas les avoir étranglés. Regardez ce qui se passe en Allemagne. La décision de sortir rapidement du nucléaire a obligé les opérateurs à fermer un certain nombre de réacteurs assez âgés. Les investissements correspondants étant depuis longtemps amortis, ces réacteurs étaient devenues d'efficaces « machines à cash » procurant des revenus abondants. Cette source étant tarie, la situation financière des opérateurs s'est trouvée brutalement dégradée entraînant, entre autres, une forte contraction de leur capitalisation à la bourse de Francfort.



ECCOVERDI. – En économie capitaliste, le marché comporte des risques. Vous ne me ferez pas pleurer sur le sort d'entreprises qui ont misé sur un mauvais cheval.



SAGREDO. – Ce n'est pas la seule raison de leurs problèmes. Sur les réseaux électriques, la priorité donnée à d'abondantes énergies intermittentes encouragées par des tarifs de rachat artificiellement élevés entraîne des effets pervers. Sur le marché, on assiste à une baisse des prix qui peuvent devenir inférieurs aux coûts augmentés des taxes, double peine pour les fournisseurs qui ne sont pas subventionnés. Quant aux entreprises qui ont misé sur le photovoltaïque, elles sont aujourd'hui en faillite, les chinois ayant cassé les prix. Il est devenu impossible d'installer des panneaux solaires sans acheter en Chine.



**SALVIATI.** – Le plus grave est qu'il est facile de faire de l'argent avec ces panneaux à bas coût et que plus personne n'est incité à faire de la recherche industrielle pour mettre sur le marché des panneaux au rendement amélioré. C'est très dommageable pour la filière photovoltaïque.



**SAGREDO.** – Nous venons de parler avant tout d'électricité. Cependant, en attendant un éventuel âge d'or que certains nous promettent pour la fin du siècle, ce vecteur ne représente je crois qu'une partie de l'énergie finale consommée par l'ensemble de la population humaine.



**SALVIATI.** – Je confirme que 20 % seulement de l'énergie consommée passent par le vecteur électrique. La proportion grimpe à 25 % dans les pays développés. Mais la consommation électrique augmente plus rapidement que la consommation globale d'énergie. Nous voyons se développer de multiples innovations dans les domaines de la production, de la distribution et des usages de l'énergie. La plupart sont basées sur l'électricité.

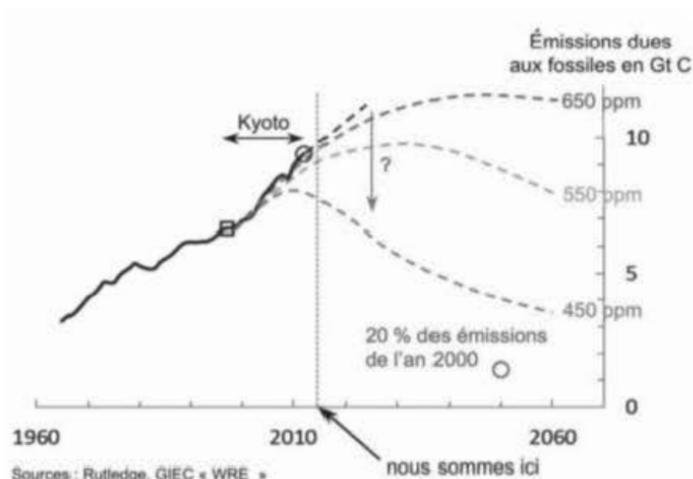


**SAGREDO.** – Je constate en effet que les applications de l'électricité s'étendent de plus en plus, notamment dans le secteur de l'information et de la communication. Mais pour longtemps encore, les problèmes environnementaux vont venir, si j'en crois vos chiffres, des 80 % de production d'énergie qui ne passent pas par le vecteur électrique.



**SALVIATI.** – L'électricité, produite majoritairement à partir du charbon, prend sa part des rejets de CO<sub>2</sub>. À l'échelle de la planète, les combustibles fossiles contribuent pour 80 % à la production d'énergie primaire et cette proportion n'a pas bougé depuis 50 ans et ne va pas varier beaucoup dans le proche avenir. C'est inquiétant dans la mesure où des objectifs climatiques fixés par les instances

internationales risquent de devenir inaccessibles sans qu'intervienne une transition brutale. Une fois de plus, je vais avoir recours à ma tablette, le temps d'afficher un graphique.



**Objectifs de décarbonisation comparés à l'évolution des émissions évaluées en gigatonnes de carbone (Gt C) envoyées par an dans l'atmosphère (courbe en trait plein). Les trajectoires d'émission (en tiretés) correspondent à des valeurs de concentration à ne pas dépasser.**

Une première observation consacre la faillite du Protocole de Kyoto. Signé pour 15 ans en 1997, il a eu quelques effets locaux, en Europe, sur des émissions de CO<sub>2</sub> mais globalement, les quantités de carbone rejetées dans l'atmosphère ont continué de croître à un rythme soutenu. En revanche, la crise économique de 2008 s'est traduite par un petit décrochement bien visible.

Une trajectoire visant une concentration limite de 450 ppm semble d'ores et déjà hors d'atteinte à partir d'une inflexion douce de la courbe historique des émissions. Quant à l'objectif, encore affiché,

de réduire les émissions de 2050 à 20 % du niveau obtenu en 2000, cela paraît complètement irréaliste. Une concentration de 550 ppm pourrait être accessible sans à-coup à condition d'entreprendre, dès maintenant, les actions nécessaires. L'incertitude demeure sur la correspondance précise entre les valeurs limites de concentration et les températures globales correspondantes. Si 450 ppm semblent garantir une hausse inférieure à 2 °C, les fourchettes s'élargissent pour des concentrations plus élevées.

Retomber sur une trajectoire à 450 ppm suppose une mise en œuvre très rapide et massive des techniques de captage et de séquestration du CO<sub>2</sub> ou alors une diminution non moins rapide de l'utilisation de combustibles carbonés.



**ECCOVERDI.** – Votre dernière proposition définit la transition franche recommandée par les écologistes. La meilleure façon de la réaliser est de limiter au plus vite la consommation d'énergie. La transition écologique doit en passer par là. Il y faut une volonté politique inflexible au niveau de la planète. Efficacité, sobriété et renouvelables en sont les piliers.



**SAGREDO.** – Une transition brutale ne serait-elle pas provoquée aussi par une crise économique majeure, sans aller jusqu'à l'effondrement planétaire qu'imaginent et analysent Éric Conway et Naomi Oreskes dans un récent ouvrage<sup>1</sup> ?



**SALVIATI.** – Il ne faut pas l'exclure. Un exemple récent d'une réduction soudaine, mais involontaire, des émissions de CO<sub>2</sub>, est fourni par l'effondrement des anciens pays communistes de l'Est européen que vous, Sagredo, nous avez remis en mémoire hier. En deux à trois ans, à partir de 1991, les émissions y avaient reculé de 40 à 50 % en même

1. E. Conway & N. Oreskes, *The collapse of western civilization*, Columbia University press, (2014).

temps et dans les mêmes proportions que la production industrielle.



**SAGREDO.** – Notre discussion fait bien ressortir les obstacles d'ordre technique, économique ou encore politique, dressés sur le chemin de cette transition énergétique. Face à la perspective d'une pénurie de combustibles, à la menace d'un changement climatique, aux risques encourus avec la mise en œuvre de telle ou telle technologie, la transition semble plus facile à définir qu'à réaliser. Je ne vois pas qu'il existe à son sujet de vision consensuelle.



**ECCOVERDI.** – Pour les écologistes, je le répète, la transition c'est d'abord qu'à l'échelle planétaire, la consommation d'énergie pendant la seconde moitié du siècle ne dépasse pas le niveau de l'année 2000. Ce ne sera possible que si dans les pays développés la consommation diminue sérieusement. Un facteur deux est un minimum. Quand la transition sera achevée, l'humanité n'utilisera plus que des sources d'énergie renouvelables respectueuses de l'environnement. Elle aura adopté un mode de vie frugal basé sur des circuits courts aussi bien pour son alimentation que pour son énergie et ses activités économiques. Les déplacements seront réduits au strict nécessaire.



**SAGREDO.** – Votre vision de l'avenir me semble imposer de fortes contraintes à la société. Sera-t-elle capable de les supporter ?



**SALVIATI.** – C'est toute la question. De mon point de vue, une efficacité énergétique fortement améliorée dans tous les domaines s'impose en effet et je rejoins Eccoverdi sur ce point. Mais elle ne suffira pas et pour conduire efficacement une transition, il convient de hiérarchiser les problèmes. La priorité doit être accordée à l'excès anthropique de gaz à effet de serre. L'humanité devra s'y attaquer fermement, ce qu'elle a négligé de faire jusqu'à présent autrement qu'en paroles.

Si dans les pays développés, on peut au cours des décennies à venir, stabiliser, voire diminuer, un peu, la consommation totale d'énergie, celle-ci va continuer de croître dans les pays émergents. Partout, la production d'électricité me paraît destinée à augmenter inéluctablement par la multiplication des applications dans tous les domaines. Une telle évolution est même souhaitable dans la mesure où les rendements autorisés par le vecteur électricité sont particulièrement élevés.



ECCOVERDI. – Vous nous avez dit tout à l'heure que la production d'électricité dans les centrales thermiques chauffées aux combustibles fossiles ou à l'uranium se fait avec un rendement limité par les lois de la thermodynamique. Alors, passer par l'électricité...



SALVIATI. – Je vous ferai observer qu'à part l'éolien, certaines énergies de la mer et l'hydraulique, la génération d'électricité est toujours accompagnée d'une production de chaleur.



ECCOVERDI. – Vous oubliez le solaire !



SALVIATI. – Non car même dans le cas du photovoltaïque, une grande partie de l'énergie est captée sous forme de chaleur. Quoi qu'il en soit, le vecteur électricité reste le meilleur pour l'efficacité du transport et de la distribution à la condition d'avoir fait les efforts appropriés de conception et de mise en œuvre des réseaux. Il est scandaleux que, dans certains pays, les pertes en lignes dépassent 30 %.

Un objectif majeur est que les sources d'énergie soient décarbonées autant qu'il est possible de façon à prévenir la menace d'un changement climatique. La part des fossiles doit diminuer, d'autant plus que la ressource est limitée. Ne les utiliseront, en dehors de leur rôle de matière première pour la chimie, que les moyens de transport pour lesquels ils seront toujours indispensables. Je pense en particulier à l'aérien.



SAGREDO. – Je comprends la nécessité de décarboner le système énergétique. Il ressort de vos propos à l'un et à l'autre que les hommes vont devoir apprendre à vivre avec un minimum de fossiles.



SALVIATI. – C'est bien pourquoi il faudra faire usage de toutes les sources d'énergie sans carbone en réservant chacune à l'emploi qui lui convient le mieux : la chaleur fatale pour le chauffage des bâtiments, l'électronucléaire pour fournir du courant en base, le petit photovoltaïque associé à des batteries pour les sites isolés, l'hydraulique associé à l'éolien et au solaire intermittents etc.



SAGREDO. – Mais il ne faudrait pas que le prix de l'énergie s'envole ni que l'accès à la modernité soit refusé aux pays émergents. J'y vois pour ma part, un formidable défi. Nous n'avons pas d'autre choix que de le relever. La société en sera sans doute transformée. Comment ? ce sera l'objet de notre prochaine discussion.

Il est temps de nous séparer jusqu'au dîner de ce soir qui nous réunira, dans la toute proche villa Cipresi, avec quelques représentants de la Société italienne de physique dont je ne doute pas qu'ils porteront un grand intérêt aux arguments échangés au cours de nos discussions.

## Quatrième journée



**SAGREDO.** – Avant d’ouvrir la discussion sur la transition énergétique et la société, je voudrais rappeler un point d’histoire. Les pays aujourd’hui développés ont déjà vécu une transition énergétique avec les révolutions industrielles du XIX<sup>e</sup> siècle. En cent ans, le machinisme s’y est répandu. Dans le même temps, les transports terrestres, grâce au chemin de fer, devenaient plus rapides et véhiculaient des tonnages de marchandises et des foules de passagers sans commune mesure avec les capacités antérieures. Née en Grande-Bretagne dans une société entreprenante et moins que d’autres pourvue de rigidités, la machine à vapeur à double effet de James Watt avait permis ces transformations dont elle était l’instrument. Par l’industrie, les sociétés se sont enrichies. L’organisation de la société s’est aussi transformée.

Qu’était l’Italie à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle ? une mosaïque assez disparate où se côtoyaient des possessions autrichiennes, savoyardes ou espagnoles, deux républiques, Gènes et Venise, le royaume de Piémont Sardaigne, les États pontificaux et j’en oublie... Un siècle plus tard, l’unité du pays était réalisée sous une monarchie constitutionnelle, l’économie prospérait et le chemin de fer circulait partout alors que le pape Grégoire XVI avait banni de ses territoires les

« *chemins d'Enfer* », ostracisme qui eut force de loi jusqu'à l'avènement de Pie IX en 1846.



**ECCOVERDI.** – Parler d'économie prospère me paraît abusif dans la mesure où les inégalités entre le Nord et le Mezzogiorno s'étaient plutôt accentuées. Elles perdurent d'ailleurs aujourd'hui.



**SAGREDO.** – Je reconnais que ma présentation était un peu rapide. Gènes et Venise, républiques marchandes autour de deux grands ports, n'avaient pas attendu la révolution industrielle pour s'enrichir. Parmi les causes de leur déclin, il convient de compter la guerre menée par Bonaparte en Italie du Nord dans le sillage de la Révolution française.



**SALVIATI.** – Richesse ou prospérité se mesurent en unités monétaires. Mais, sauf en Europe communautaire, chaque État a sa propre monnaie. Les parités entre monnaies varient continuellement ce qui rend difficile la comparaison d'un pays à l'autre.



**SAGREDO.** – C'est bien pourquoi on a élaboré un indicateur appelé produit intérieur brut (PIB). Proposée avant la Seconde Guerre mondiale, cette mesure de l'activité économique a été adoptée depuis par les Nations unies. Production et services y sont intégrés de façon, en principe, transparente par les services de comptabilité nationale. Malgré ses imperfections, il fait consensus car il concilie production, revenus et demande, alors que la richesse concerne les seuls revenus. On peut ainsi estimer le degré de développement d'une nation et le comparer aux autres. Et quand on parle de croissance, on se réfère toujours à l'évolution du PIB.



**SALVIATI.** – Pour rester dans notre sujet, il existe, entre énergie et PIB, une relation déterminée à partir de statistiques portant sur les 50 dernières années. On trouve pour l'ensemble de la planète que le

PIB varie *grosso modo* en proportion de l'énergie consommée, selon une loi linéaire dans le langage des mathématiciens. Les chocs pétroliers et les crises se manifestent par des écarts mais assez faibles par rapport à la tendance générale. La situation est très différente pour nos pays d'Europe occidentale. Depuis le premier choc pétrolier de 1973, le PIB continue de grimper, multiplication par huit, alors que la consommation d'énergie ne s'est accrue que de 20 %. Dans la mesure où les atteintes à l'environnement dépendent de la quantité d'énergie produite, cette évolution me paraît aller dans le bon sens.



**ECCOVERDI.** – Je crains que la statistique relative à l'Europe ne soit biaisée. Il faudrait tenir compte de l'énergie consommée ailleurs pour produire ce que nous importons. D'une façon générale, j'éprouve la plus grande méfiance vis-à-vis de ces indicateurs de la santé d'une économie capitaliste. Avec le PIB, des économistes entendent mesurer le bonheur. C'est une prétention ridicule.



**SAGREDO.** – Pour le bonheur, je ne sais pas. En revanche, ce que le PIB permet de comparer c'est plus la production de richesses que la richesse elle-même. Souvent en effet, richesse et PIB ne coïncident pas géographiquement. Prenez telle île paradisiaque dans les Caraïbes où la « *Jet set* » aime à se retrouver. La richesse s'y étale avec insolence, mais on n'y trouve aucune activité productrice. Son PIB stagne à un faible niveau. Pour une région industrielle peuplée de travailleurs pauvres, on a la situation inverse.



**ECCOVERDI.** – Il existe d'autres indicateurs plus significatifs. Ainsi toujours sous l'égide des Nations unies, l'indice de développement humain (IDH) combine richesse, longévité de la population et son niveau d'éducation. Il est compris entre zéro et un. On a constaté qu'il s'accroît proportionnellement à la consommation d'énergie primaire par habitant tant que celle-ci ne dépasse pas deux tonnes équivalent pétrole (tep) par an. Au-delà, il stagne avec des valeurs légèrement

supérieures à 0,9. Les pays développés consomment autour de 4 tep/an en Europe occidentale, huit aux États-Unis sans que cela influe sur leur IDH.

Cependant, je note avec regret que IDH comme PIB ignorent l'environnement et ne prennent pas en compte le caractère durable ou non du système énergétique.



**SALVIATI.** – Il est vrai que le développement durable n'est pas immédiatement quantifiable. Pour preuve, une commission des Nations unies présidée par M<sup>me</sup> Gro Harlem Brundtland (ancien Premier ministre de Norvège) en a donné cette définition qui a valeur officielle :

« [il] répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs »

en y ajoutant cette préconisation :

« ne pas mettre en danger les systèmes naturels qui nous font vivre : l'atmosphère, l'eau, les sols et les êtres vivants. »

Rien que de très qualitatif. Cette définition a cependant un mérite. Elle confère une triple dimension au développement durable :

- une dimension sociale : rendre un service effectif et équitable. Les gadgets et la mode sont par essence éphémères ;
- une dimension économique : gérer son patrimoine, bien connaître le marché, réagir en temps voulu, anticiper l'avenir ; assurer une solvabilité permanente et à long terme. Une économie en faillite n'a plus d'avenir ;
- une dimension environnementale : respecter les grands cycles naturels sur lesquels repose la vie de la nature. Une société peut disparaître après avoir provoqué une catastrophe écologique, les exemples développés par Jared Diamond en sont la preuve.

Ces trois dimensions imposent des contraintes fortes à l'évolution des sociétés.



**ECCOVERDI.** – Je pense que la contrainte environnementale est la plus importante. Elle a été trop négligée jusqu'ici. Il n'est pas normal qu'aujourd'hui encore, de soi-disant impératifs économiques orientent toute la politique. Il faut absolument changer de priorité.



**SALVIATI.** – Je crois au contraire que les trois contraintes du développement durable forment une trinité indissociable. Malheureusement, une tendance assez naturelle à la facilité incite à ne prendre en compte qu'une seule contrainte à la fois et ce défaut n'est pas réservé à la pensée militante.



**SAGREDO.** – En effet, je confirme que la plupart des économistes ont du mal à s'abstraire de leur discipline et leurs critères de jugement se bornent à la seule rentabilité. À la limite, n'avoir pour objectif que la richesse au sens le plus métallique du terme conduit à un capitalisme sauvage et maffieux. Les États ont, me semble-t-il les moyens de tempérer cette tendance. Si je vous entendez bien, les sociétés devront s'adapter à une trinité de contraintes.



**SALVIATI.** – C'est en effet indispensable. Vous avez bien observé que la prospérité va de pair avec certaines formes de société. Il en est de même pour le développement des sciences et des technologies qui sous-tendent cette prospérité. Il y a déjà longtemps, le célèbre sinologue britannique Joseph Needham faisait remarquer qu'un environnement sociétal favorable est nécessaire. Je le cite :

*« Il semble que l'intérêt pour les phénomènes et les sciences de la nature ne se propage pas, n'arrive pas à percer sous le despotisme ou certains types de bureaucratie. »*



**SAGREDO.** – Je connais le monumental travail de Needham. Ce qu'il dit de la science mérite d'être nuancé. Il y eut des hommes de science dans toutes les civilisations. Ils purent s'exprimer quels que soient les régimes politiques, parfois certes à leur détriment comme Giordano

Bruno. L'exemple de la Grèce antique est intéressant pour une raison différente : de la science pure s'y est épanouie sans entraîner d'applications. Les mathématiques platoniciennes étaient « divines » en ce sens qu'elles ne devaient rien avoir de commun avec nos misérables affaires terrestres.



**SALVIATI.** – Il me semble cependant que le nombre d'or était utilisé en architecture.



**SAGREDO.** – C'était pour édifier des temples. De la même façon, le stade (un peu moins de 200 m.) était la distance réservée aux courses de vitesse car les Grecs savaient d'expérience que sur cette longueur, un athlète conserve sa plus grande vitesse. Or, les jeux avaient une forte connotation religieuse.

Au-delà de la science expérimentale, le propos de Needham s'applique à la diffusion des connaissances et des procédés. Mais revenons à ce pays qui lui était cher : la Chine où naquirent de nombreuses inventions à commencer par la poudre à canon, mais aussi la boussole, la fonte de fer que l'on peut couler évitant ainsi le dur travail de la forge, l'attelage à collier rigide qui n'étouffe pas le cheval car il porte sur ses épaules et non sur son encolure... En Chine, la féodalité mandarinale était avant tout une bureaucratie. Elle se recrutait suivant des critères purement littéraires parmi les meilleurs esprits. Pour eux, seules les carrières du service public étaient honorables. Une fois dans la place, il n'était pas question de promouvoir des innovations. Il s'agissait de mettre toutes ses capacités à faire tourner une lourde machinerie administrative en respectant un rituel contraignant. La société marchande ne pouvait se développer, et la liberté d'entreprendre n'était guère encouragée.

En quelque sorte, l'appareil d'État digéra les inventions. Ni l'art de la guerre ni l'économie n'en furent bouleversés.



**ECCOVERDI.** – Pourtant, en occident...



**SAGREDO.** – J’y viens. Au Moyen Âge d’après l’an mille, l’Europe occidentale a vécu l’amorce d’une révolution industrielle. Ce fut une époque de grande créativité mais plutôt dans l’exploitation d’inventions anciennes ou venues d’ailleurs. Ainsi les moulins... Nous parlions hier des moulins à vent nés dans l’Antiquité. Aujourd’hui, je pense surtout aux moulins à eau, d’ancienneté comparable. Malgré les temps morts dus au gel et à la sécheresse, ils constituent une source d’énergie assez régulière. Leur impressionnante multiplication au Moyen Âge fit naître un premier machinisme là où se trouvaient réunies rivières, main-d’œuvre qualifiée et ressources à transformer. Malgré cela, les conséquences furent limitées aussi bien dans le domaine des techniques que pour la société.



**SALVIATI.** – Voulez-vous dire que la société médiévale avec sa féodalité militaire était inadaptée au développement des technologies ?



**SAGREDO.** – La substitution partielle du travail mécanique au travail animal et humain eut inévitablement des conséquences sociales. Elle précipita la fin du servage et favorisa l’apparition d’un premier capitalisme industriel. Le machinisme naissant s’est beaucoup développé dans les villes, hors féodalité. Mais, contrairement à ce qui s’est passé en Grande-Bretagne à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, on ne constate pas d’effet de levier par lequel chaque technologie arrivant à maturité en suscite d’autres au cours d’un processus itératif et qui s’amplifie, un effet boule-de-neige si vous préférez cette image. Au Moyen Âge, un corporatisme institutionnel particulièrement efficace a produit des blocages et opposé une considérable inertie au changement. Il convient aussi de souligner la part prise, dans ce faux départ d’une grande transition énergétique, par les guerres et les épidémies qui au XIV<sup>e</sup> siècle ont ravagé notre continent dont la population a été en peu de temps divisée par deux.



**SALVIATI.** – Permettez-moi de rappeler qu'au cours de ce même xiv<sup>e</sup> siècle, l'artillerie de campagne fit son apparition en Europe occidentale. Les bombardes de la bataille qui opposa Anglais et Français à Crécy en 1346 étaient une retombée spectaculaire de l'invention de la poudre. Elles marquaient une étape décisive d'une évolution qui avait accompagné la diffusion de cette invention depuis la lointaine Chine. Avec les premiers canons, l'art de la guerre va subir des transformations profondes.



**SAGREDO.** – Les conséquences s'étendront au domaine politique. Par la mise en œuvre de ces nouvelles armes aux mains d'un pouvoir central seul capable de se les offrir, la féodalité militaire cessa d'être à l'abri derrière les murailles de ses châteaux forts et dut bon gré mal gré se soumettre à une autorité dotée d'une technologie supérieure. On voit se dessiner ainsi les prémisses de ce que seront nos États-nations.



**ECCOVERDI.** – C'était aussi la première apparition des complexes militaro-industriels, déplorables instruments de domination qui de nos jours n'ont fait qu'accroître leur influence au point d'imposer dans certains pays d'inutiles et dangereuses centrales électro-nucléaires !



**SAGREDO.** – Laissons de côté pour le moment tout jugement de valeur, les exemples que nous avons cités témoignent d'une influence du développement des systèmes énergétiques sur l'organisation des sociétés jusque dans leurs régimes politiques. Le cas de la grande transition qui s'est déroulée entre 1780 et 1880 est remarquablement éloquent. En même temps que se développaient une industrie et des transports stimulés par la multiplication des machines à vapeur, on est passé non sans douleurs de diverses déclinaisons du droit divin à un modèle de démocratie représentative dont certains aimeraient qu'il ait valeur universelle.



**ECCOVERDI.** – On a vu aussi la mise en place d'un système économique dominant sous la forme d'un capitalisme débridé dont au <sup>xx</sup>e siècle, les pays socialistes de l'Est de l'Europe et de l'Asie avaient essayé de s'affranchir. Ils n'y ont pas réussi.



**SAGREDO.** – De mon point de vue, cet échec tient à une idéologie qui confiait à une lourde bureaucratie la tâche d'organiser et de réguler tous les aspects de la vie dans une société fermée. Le développement de ces pays aux structures très centralisées s'en est ressenti comme on a pu s'en rendre compte après leur effondrement. Ayant négligé la contrainte économique, les régimes autoproclamés socialistes et pour qui seule comptait la production ont imposé. Ils n'ont pas respecté non plus la contrainte environnementale.



**ECCOVERDI.** – Croyez-vous que le capitalisme puisse faire mieux ? La surexploitation qu'il provoque ne respecte pas davantage la contrainte environnementale.



**SAGREDO.** – À propos de capital, une distinction intéressante pour notre débat est proposée par les Nations unies qui ont pris l'initiative d'évaluer l'état de la planète. Le Millenium Ecosystem Assessment (MEA, Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire), a ainsi été conduit à distinguer quatre sortes de capital :

- le capital *manufacturier*, comprenant les outils de travail et les infrastructures ;
- le capital *humain* fait de travail et de compétences ;
- le capital *social* constitué de réseaux de relations et des positions sociales ;
- le capital *naturel* composé des ressources vivantes et inertes, renouvelables ou non.

Par l'intermédiaire de la fiscalité, les États ont un pouvoir d'action et de contrôle.



**ECCOVERDI.** – Oui mais dans nos pays développés, l'ensemble des pressions fiscales porte d'une part, sur le capital manufacturier par des taxes sur la consommation et les sociétés et d'autre part, sur le capital humain par l'impôt sur le revenu. Dans ces conditions, les agents économiques n'ont aucune incitation à préserver le capital naturel qu'il soit renouvelable comme la biodiversité animale ou végétale, ou non comme les minéraux. Une réforme urgente serait de transférer une partie de la fiscalité vers les dommages causés à un capital naturel dont la nécessaire pérennité fixe des limites à toutes les activités humaines.



**SAGREDO.** – Des économistes commencent de considérer l'environnement comme un ensemble de fonctions (climat, cycle du carbone, cycle de l'eau, biodiversité...) dont l'entretien doit réguler l'exploitation des ressources. La réforme que vous préconisez s'inscrit, me semble-t-il, dans cette démarche. N'a-t-elle pas déjà reçu un commencement d'exécution avec les marchés de permis d'émission ?



**ECCOVERDI.** – Rappelez-vous ! avant-hier je vous avais fait remarquer que le marché du carbone mis en place par l'Europe communautaire est un désastre. La tonne de carbone émise se négocie actuellement à un cours ridicule, inférieur à cinq euros là où il en faudrait au moins 50. Où est l'effet dissuasif ? Il est illusoire d'imaginer que le libéralisme puisse apporter des solutions adaptées à des problèmes de protection de l'environnement. Un système de taxes, la fameuse taxe carbone, aurait été bien plus efficace.



**SALVIATI.** – La nomenclature du MEA oublie une autre forme de capital : les connaissances que l'espèce humaine accumule depuis des millénaires. Ce capital ne s'épuise pas lorsqu'on l'utilise. Il s'enrichit continuellement grâce aux résultats de la recherche et aussi grâce à l'expérience acquise par les hommes dans leurs activités. J'y inclus la culture pour autant qu'on puisse la définir.

Tout ce savoir est contenu dans la mémoire des hommes, dans les archives, dans les bibliothèques et dans les disques durs de nos ordinateurs. J'y ajouterais volontiers le patrimoine architectural, industriel et des infrastructures.



**ECCOVERDI.** – Je doute que notre mémoire soit à ce point fiable. D'autre part, les supports matériels des archives : papier, films, bandes magnétiques ou encore disques durs, sont par nature fragiles. Au fil du temps, l'information est perdue. Que feront nos lointains descendants lorsqu'ils tomberont par hasard sur des containers éventrés pleins de déchets radioactifs ?



**SALVIATI.** – Vous pensez réellement que toute connaissance scientifique puisse être effacée au point que nos descendants n'auraient aucune idée de ce qu'ils risquent de trouver sous la terre ?



**SAGREDO.** – Rien ne vaut un exemple pour répondre à une telle question. En l'an 640 de notre ère, l'incendie qui détruisit la bibliothèque d'Alexandrie n'a pas fait disparaître complètement le savoir accumulé pendant toute l'Antiquité. Par l'intermédiaire de l'Empire romain d'Orient et de la brillante civilisation qui fut celle des califats musulmans autour de l'an mille, une grande partie a pu parvenir mais avec retard, jusqu'en occident.



**SALVIATI.** – Le capital de connaissances a été formidablement enrichi à partir de la Renaissance et plus encore depuis les révolutions industrielles. Il est le socle de la civilisation occidentale. Il nous a permis de prendre conscience des pathologies de nos sociétés. Il devrait aussi servir à trouver les moyens d'y porter remède.



**ECCOVERDI.** – Ces moyens, nous les connaissons ! Il suffit, pour les mettre en œuvre, de suivre les recommandations des organisations environnementales. Au risque de passer pour un triste rabâcheur, je

rappelle la nécessité d'une moindre consommation d'énergie. En même temps, il s'impose de substituer les renouvelables aux combustibles dont l'utilisation est détestable : l'uranium parce que c'est de l'énergie nucléaire à proscrire ; le pétrole, le gaz et le charbon parce que leur combustion libère des gaz à effet de serre qui vont s'accumuler dans l'atmosphère et nous soumettre au réchauffement climatique. Je mettrai cependant le gaz un peu à part. À production d'énergie égale, les émissions sont deux fois moindres qu'avec les autres combustibles carbonés. Remplacer ceux-ci par du gaz naturel ne peut qu'améliorer les choses, à consommation d'énergie constante et à la condition de ne pas avoir recours aux gaz de schiste qui sont un désastre pour l'environnement.

La limitation de la production d'énergie ne peut se concevoir que dans le cadre d'une sortie du capitalisme. Je maintiens que dans ce système qui pousse à la surconsommation indéfinie, la création de richesse se fait à partir de la destruction du capital naturel.



**SAGREDO.** – Cette affirmation me paraît datée du temps où les économistes voyaient dans l'agriculture la source de toute richesse. C'est comme s'il existait une loi de la nature stipulant que la somme de la richesse des hommes et du capital naturel était une constante.



**SALVIATI.** – J'insisterai sur ce point, Sagredo, en observant que l'économie n'est pas la physique. On n'y connaît pas de lois de conservation. Un travers abondamment répandu jusque chez les économistes consiste à raisonner comme si par exemple la richesse était conservative : si certains s'enrichissent, d'autres doivent nécessairement s'appauvrir. Une société même isolée qui se développe devient globalement plus riche. Cela n'empêche pas les écarts entre les plus riches et les plus pauvres de subsister ni même de pouvoir grandir.



**ECCOVERDI.** – Vous conviendrez qu'il n'est pas besoin de faire appel à une loi de conservation pour constater la dégradation de notre

environnement naturel. La richesse s'accroît, mais reste mal répartie. Les technologies se développent et vous avez tout à l'heure souligné les effets de levier qui sont aussi des effets boule-de-neige, chaque innovation entraînant d'autres. La consommation d'énergie, donc de combustibles augmente de façon exponentielle. Cet emballement ne peut se prolonger sans aboutir à une catastrophe écologique planétaire.

Pour prévenir la dégradation des écosystèmes qui contribue à nourrir la création actuelle de richesse, il convient d'accorder des droits à la nature : aux êtres vivants comme aux paysages.



SAGREDO. – Il existe déjà des lois pour protéger certaines espèces menacées.



ECCOVERDI. – C'est vrai, mais, pour les écologistes, elles sont très insuffisantes. Elles ne consacrent guère qu'un modeste droit à la survie. Ce droit devrait aussi pouvoir s'appliquer aux forêts pour ne pas être surexploitées, aux sites pour ne pas être éventrés par des carrières ou des mines à ciel ouvert, à l'écorce terrestre en général pour ne pas être contaminée par la radioactivité artificielle provenant de l'industrie nucléaire, du moins tant que celle-ci existe. Un mouvement dans ce sens a été amorcé par un chef d'État lucide : le président amérindien de la Bolivie, Evo Morales, a fait adopter dans son pays une loi garantissant les droits de la Terre-Mère. À son initiative, une conférence internationale s'est réunie en 2010 à Cochabamba pour élaborer une « *déclaration universelle des droits de la Terre-Mère* » à soumettre aux Nations unies qui l'année précédente avaient fait du 22 avril une « *journée internationale de la Terre-Mère* » dont il est vrai on n'entend peu parler.



SAGREDO. – Mais le droit est une construction humaine. Les juristes et autres gens de loi sont des hommes. Nous avons eu le même débat à propos de la beauté. Dans son cas, vous aviez récusé le jugement humain !



ECCOVERDI. – Je fais une différence. L'esthétique n'est pas un droit. C'est un constat éminemment subjectif, nous l'avons souligné tous les trois. Au contraire, la protection de la nature s'impose à toute l'humanité. Une telle obligation est de toute évidence source de droit.



SAGREDO. – Seulement la Nature ne peut pas s'exprimer. Qui va dire le droit et au nom de quoi ?



ECCOVERDI. – Devant la carence des chefs d'État, à l'exception notable d'Evo Morales, les associations non gouvernementales dédiées à la défense de l'environnement me paraissent posséder les qualifications adéquates pour faire des propositions.



SAGREDO. – Mais quelle est leur légitimité. Ne sont-elles pas auto-proclamées ? En démocratie, la seule légitimité vient du suffrage universel. Le récuseriez-vous et avec lui tout système représentatif ?



ECCOVERDI. – Représentatif de quoi ? Nous avons des gouvernements pour gérer les affaires humaines. Ils sont organisés selon différents modes. La démocratie représentative en est un exemple parmi d'autres. Dans ce régime politique, les partis politiques d'où sont issus les assemblées et les gouvernements sont aussi des entités auto-proclamées.



SAGREDO. – Beaucoup pensent que la démocratie représentative est la plus acceptable des formules de gouvernement. Winston Churchill avait déclaré que c'est le pire des régimes à l'exception de tous les autres.



ECCOVERDI. – Mais ce n'est qu'une opinion qui met en exergue une sorte d'idéal par défaut. Un autre point de vue est en train de se dessiner dans la mouvance écologiste. On peut faire en effet plusieurs reproches à la démocratie représentative telle que nous la pratiquons dans les pays occidentaux.

Dans son principe même, elle accorde aux élus des mandats de courte durée : quatre à six ans au bout desquels ils reviennent devant leurs électeurs pour rendre compte de leur action et solliciter à nouveau leurs suffrages. Les politiques publiques sont de la sorte soumises au jugement d'individus soucieux d'abord de leur bien-être. Au moment de mettre un bulletin dans l'urne, les problèmes environnementaux ne vont pas leur venir spontanément à l'esprit. D'une façon générale, les élus sont portés à défendre les intérêts particuliers de leurs électeurs. Bien qu'ils prétendent le contraire, ils en oublient l'intérêt général. Quant à la nature, elle ne vote pas. Alors qui s'en soucie ?

Depuis soixante ans, tout concourt à mettre dans la tête du citoyen électeur que l'enrichissement matériel de chacun est la clé du bien-être. Si vous m'autorisez ce jeu de mots, il nous faut quitter cet « écosystème » pour aller vers un écosystème dans lequel l'humanité est intégrée à la Nature. Ce dont nous avons besoin, c'est d'un gouvernement qui respecte d'abord le capital naturel. Nous refusons à l'espèce humaine la liberté de saccager son environnement. Nous avons aujourd'hui l'obligation de produire et de consommer moins. En serons-nous moins heureux ?

Enfin, la primauté du court terme semble s'imposer à nos démocraties comme elle s'impose au monde de la finance. Comment prendre en compte les intérêts de l'avenir quand ils paraissent en contradiction avec ceux du présent ?

Pour toutes les raisons que je viens d'énumérer plus sans doute quelques autres, ce système politique souffre d'une incapacité structurelle à répondre aux défis environnementaux qui sont à long terme et qui obligent à s'élever bien au-dessus des préoccupations du quotidien. Je ne vois pas se révéler des hommes d'État mus par une vision à vingt ans ou plus, alors que l'horizon du politicien ordinaire est la prochaine échéance électorale.



SAGREDO. – Mais que faites-vous des partis écologistes qui présentent des candidats aux élections ? Leurs programmes incluent toujours la protection de l'environnement, que je sache.



**ECCOVERDI.** – Ces partis sont faibles. Dans aucun pays, ils n'ont réussi à devenir majoritaires. Dans le meilleur des cas, ils sont intégrés à des coalitions dominées par d'autres. Partout, leurs membres se prêtent avec complaisance aux jeux politiques. Leur influence est ainsi limitée sauf peut-être en Allemagne où ils ont réussi à obtenir la sortie de l'électronucléaire au profit des énergies renouvelables. Déjà, la puissance installée en solaire et en éolien couvre la consommation moyenne. Avec la priorité donnée à ces sources d'énergie, les autres ne sont que des appoints.



**SALVIATI.** – En fait, on assiste surtout à un retour au charbon. Tel est le résultat le plus tangible de ce tournant énergétique, l'« *energie-wende* » dont certains prônent la généralisation. L'implantation massive de renouvelables se traduit par une électricité plus chère, plus émettrice de CO<sub>2</sub> et moins fiable.



**SAGREDO.** – J'ajouterai que le dérèglement du marché de l'électricité consécutif à cette politique risque de conduire l'Allemagne à subventionner les centrales à gaz, ce qui revient à subventionner des émissions de CO<sub>2</sub>. Mais revenons si vous le voulez bien aux régimes politiques tels qu'ils pourraient évoluer en même temps que se produit une transition énergétique.



**ECCOVERDI.** – Sagredo, vous avez tout à l'heure soulevé un problème de légitimité. Il peut à mon sens être résolu par le vote d'une constitution comportant des dispositions nouvelles.

Le préambule d'une telle constitution doit stipuler que la mission de l'État est certes de préserver l'intérêt fondamental de la nation, mais qu'il ne peut le faire qu'en veillant à la sauvegarde du bien commun que constitue l'équilibre de la biosphère. Il faut également y inscrire que les ressources naturelles étant limitées, une gestion concertée s'impose à l'échelle internationale.

Ces principes supposent une organisation adaptée. Dominique Bourg, professeur à l'université de Lausanne a proposé une piste que je trouve attrayante. Il préconise en plus d'une Assemblée nationale élue au suffrage universel, deux instances chargées de veiller au respect des objectifs constitutionnels de protection de l'environnement.

La première est à créer sous la forme d'une « académie du futur » qui aurait pour mission d'exercer une veille sur l'état de la planète et d'éclairer les décisions politiques. Elle serait composée de chercheurs internationalement reconnus dans les domaines de la géophysique et de l'histoire naturelle pour leur contribution au respect de l'environnement.

La seconde serait un Sénat profondément remanié dans son rôle comme dans sa composition. Sa fonction serait d'élaborer, en amont d'une Assemblée nationale qui conserverait le pouvoir de voter les lois, les grands projets législatifs dont certains porteraient sur la fiscalité, destinés à répondre aux nouveaux objectifs constitutionnels. Il serait formé pour deux tiers au moins de personnalités qualifiées et pour un tiers de citoyens que je verrais bien désignés par tirage au sort. On pourrait élire les personnalités sur des listes proposées par les organisations environnementales. Celles-ci bénéficieraient ainsi de la légitimité du bulletin de vote, ni plus ni moins que les partis politiques.

Ce Sénat aurait en plus, avec l'aval de conférences de citoyens organisées à son initiative, un droit de veto sur les projets de loi qu'il jugerait contraires aux objectifs de protection de l'environnement et de la préservation des ressources naturelles.



SAGREDO. – Mais c'est une théocratie que vous nous proposez là !



ECCOVERDI. – Je ne vois pas ce que Dieu vient faire ici. Mon propos n'est pas religieux. C'est l'environnement qu'il faut protéger. Ce n'est pas à un dieu qu'il convient d'obéir.



SAGREDO. – L'environnement n'est peut-être pas un dieu, mais quand une revue de la mouvance écologiste titre « *Oui à la déesse Nature* »<sup>1</sup> ne serait-ce pas une référence au culte de la Terre-Mère, qu'on la nomme Erda ou Gaia, suivant que l'on est au bord de la Baltique ou sur les rivages de la mer Égée ?



SALVIATI. – Pour aller dans le sens de votre réflexion sur le caractère religieux de certaines prises de position des écologistes, je note qu'à propos de l'électronucléaire, les évêques allemands et japonais leur ont emboîté le pas en se prononçant, au nom de l'éthique, contre cette technologie. Ce faisant, ils contribuent à donner au débat une portée universelle.



SAGREDO. – S'il avait été parmi nous, Simplicio n'aurait pas manqué de rappeler l'enseignement d'Aristote : les conflits portant sur des biens matériels finissent toujours par se résoudre tandis que, dans les batailles d'idées, les positions demeurent inconciliables. Suivant ce constat, élever un débat jusqu'au plan idéologique ou religieux est la meilleure façon de n'en jamais sortir.



SALVIATI. – Ce genre de transfert au niveau supérieur transforme un choix de politique énergétique concernant un pays particulier, en un onzième commandement qui vaut pour toutes les nations :

*Pour l'électricité, le noyau de l'atome  
Point n'utilisera.*

Comme vous l'avez rappelé en lançant notre discussion, le pape Grégoire XVI avait eu la même attitude à propos des chemins de fer, mais sa condamnation n'avait pris effet que dans ses États et nulle part ailleurs.

Qu'une nouvelle forme de religiosité ait fait son apparition est une évidence aux yeux de Freeman Dyson. Ce physicien de 90 ans

1. *L'Écologiste* (édition française de *The ecologist*) n° 31, printemps 2010.

a gardé un esprit particulièrement vif accompagné d'un redoutable sens critique. S'il lui arrive de dérapier, il reste un observateur très fin de la société. Il constatait, en 2008, dans la *New York Review of Books* :

« *L'environnementalisme est la nouvelle religion séculière... il a remplacé le socialisme comme religion séculière dominante* ».

Selon Dyson, cette nouvelle religion va dans le sens préconisé par Ecoverti : elle enseigne que nous sommes au service de la Terre, que polluer la planète avec tous les déchets qu'implique notre vie luxueuse est un péché et que pour être dans le droit chemin, il convient de vivre aussi frugalement que possible.



**SAGREDO.** – On se rend compte du passage de la religion séculière socialiste à la nouvelle religion, en constatant qu'une bonne partie des militants écologistes vient de la gauche, parfois extrême, et reste de ce côté de l'échiquier politique. Le socialisme version URSS s'est effondré mais avec la protection de l'environnement, ils ont en effet adopté une nouvelle théologie de substitution. L'action du président Morales me paraît aller dans ce sens. C'est au nom de la Terre-Mère qu'il combat le capitalisme.

Ma réflexion sur la théocratie visait plutôt les modalités d'exercice du pouvoir. Ecoverti, vous préconisez une Académie et un Sénat aux membres recrutés parmi les défenseurs autoproclamés de l'environnement et dont l'autorité s'imposerait à tous. De telles institutions me paraissent être de même nature que les conseils qui dans une société théocratique veillent au respect du dogme dans tous les actes de la vie. La République islamique d'Iran fonctionne suivant ce principe, mais de multiples instances y coexistent pour garantir l'orthodoxie et la bonne pratique religieuse. Faut-il y voir une heureuse manifestation de la sagesse orientale pour éviter que trop de pouvoirs soient concentrés entre trop peu de mains ? Tenez, si j'avais une recommandation à faire, ce serait d'ajouter quelques comités par exemple celui des sages et celui des experts.



**SALVIATI.** – Sous-entendez-vous par là que les experts ne sont pas forcément des sages, que les sages sont rarement experts et qu'a priori on ne voit aucune raison pour que les membres des associations environnementales soient à la fois sages et experts ?



**ECCOVERDI.** – Je perçois quelque ironie dans votre question. Je me méfie beaucoup de ceux que l'on appelle communément experts et qui ne sont souvent que les représentants de lobbys puissants dont, sous couvert de science, ils défendent les intérêts. Pour ce qui est de la sagesse... peu d'êtres humains en font preuve. Il vaut mieux s'en remettre à la nature. Ne pas la soumettre à la folie des hommes est le premier précepte à respecter.



**SAGREDO.** – Ce culte de la nature m'apparaît comme un nouveau paganisme. On semble revenir à la perception primitive qui voyait dans chaque phénomène naturel l'intervention d'une divinité, grande ou petite. L'Antiquité avait institutionnalisé cette manière de voir. Suivant cette ligne, on pourrait facilement invoquer tel ou tel représentant du panthéon de la mythologie grecque : la Terre-Mère y prendrait la figure de Déméter. Et pour animer les sources d'énergie, en plus des évidents Éole et Hélios, on aurait Déméter, encore elle pour la biomasse, Héphestos pour le feu, Poséidon pour les énergies marines, Hadès pour la géothermie...



**SALVIATI.** – Pourrait-on aller jusqu'à invoquer Zeus pour l'électricité ainsi qu'Hermès pour les technologies de l'information et de la communication ?



**ECCOVERDI.** – Franchement non, car comme vous venez de le dire, il s'agit là de technologies développées par l'homme et qui n'ont pas de contrepartie dans la nature. En imaginant un dieu derrière une entité naturelle, nos ancêtres de l'Antiquité la sacralisaient.



SALVIATI. – Souhaiteriez-vous le retour à un paganisme, version « new age » ?



ECCOVERDI. – Non, mais je pense que les religions primitives, amérindiennes par exemple, et à un moindre degré celles de l'Antiquité classique, veillaient à la prévention des saccages que notre espèce est à même de faire subir à la nature. On ne touche pas impunément au sacré. L'imprudent profanateur risquait de terribles châtements.



SALVIATI. – Infligés je suppose par les prêtres et les gardiens du temple...



ECCOVERDI. – La menace suffisait.



SALVIATI. – N'y avait-il pas plutôt la crainte d'une nature déchaînée comme celle que nous révèle l'Odyssée ?



SAGREDO. – Dans cette épopée, les colères de la mer sont en effet terrifiantes. Éole et Poséidon ne sont pas trop de deux pour les susciter et les entretenir. Mais, si Ulysse surmonte toutes les embûches, c'est autant par son ingéniosité que par la protection d'Athéna, par ailleurs déesse de la connaissance et de la raison.



SALVIATI. – À propos de raison, il serait bon de se souvenir de l'appel de Heidelberg signé en 1992 par une multitude de scientifiques dont plusieurs dizaines de prix Nobel, toutes disciplines confondues. C'était un avertissement aux autorités, lancé juste avant le Sommet de la Terre tenu à Rio, afin de prévenir une éventuelle dérive vers l'irrationalité :

*« Nous exprimons la volonté de contribuer pleinement à la préservation de notre héritage commun, la Terre. Toutefois, nous nous inquiétons d'assister, à l'aube du XXI<sup>e</sup> siècle, à l'émergence d'une idéologie irrationnelle qui s'oppose au progrès scientifique et industriel et*

*nuit au développement économique et social. Nous affirmons que l'état de Nature, parfois idéalisé par des mouvements qui ont tendance à se référer au passé, n'existe pas et n'a probablement jamais existé depuis l'apparition de l'homme dans la biosphère, dans la mesure où l'Humanité a toujours progressé en mettant la Nature à son service et non l'inverse. »*



**ECCOVERDI.** – Cet appel a suscité de vigoureuses polémiques, car il était en réalité téléguidé par des lobbys industriels ce qui à mes yeux suffit pour décrédibiliser ses signataires. Vous ne serez pas surpris si je vous dis être en complet désaccord avec ce manifeste et je m'appuie là sur un argument plus profond. Comment oser affirmer que l'humanité progresse en mettant la nature à son service ? C'est d'une prétention insupportable ! L'homme n'est pas supérieur à la nature. Il en fait partie. Il doit la respecter et ne pas vouloir la plier à ses fantaisies, encore moins la mettre en coupe réglée comme c'est trop souvent le cas. Les écologistes ne sont pas irrationnels. Ils revendiquent au contraire une autre rationalité, dans le cadre d'un paradigme différent : celui de la soumission à la nature. Les écosystèmes sont notre bien commun. Ne les détruisons pas avec nos inventions ! Laissons vivre toutes les espèces dans un juste équilibre qu'il ne nous appartient pas de perturber.



**SALVIATI.** – Le développement des technologies est un long combat de l'homme contre l'hostilité des éléments. Nieriez-vous qu'elles ont permis de vaincre les températures extrêmes, la famine et la maladie ?



**ECCOVERDI.** – Mais à quel prix ! Fallait-il pour cela massacrer la nature ? Les écologistes, et je les approuve, préconisent une nouvelle sacralisation de notre environnement. L'ordre ancien qui le respectait a été bouleversé en occident par le triomphe de la pensée judéo-chrétienne associée à la performance technologique. Les relations que

l'humanité entretient avec la nature ont alors suivi un cours différent. Cette idée a été développée par l'historien médiéviste Lynn Townsend White dans une conférence prononcée en 1966 et dont le texte a été publié sous forme d'un article paru dans la revue américaine *Science* en 1967 sous le titre : *The Historical Roots of Our Ecologic Crisis*.



**SALVIATI.** – Que venait faire un article sur un sujet historique dans une revue scientifique qui passe pour sérieuse et de haut niveau ?



**SAGREDO.** – Si ma mémoire est bonne, la conférence avait eu pour cadre une réunion de l'Association américaine pour l'avancement des sciences qui édite cette revue. Pour ma part, je ne suis pas choqué de voir des scientifiques faire preuve d'ouverture d'esprit en écoutant des propos susceptibles de les renseigner sur les idées qui, dans notre société, façonnent l'opinion. Je connais ce texte de Lynn White. Outre-Atlantique, il eut en son temps un grand retentissement dans les milieux où s'élabore une contre-culture qui allait exploser avec les manifestations bruyantes de l'année 1968.



**ECCOVERDI.** – Lynn White était aussi diplômé en théologie. Donc il savait de quoi il parlait. Il voyait dans le christianisme occidental la religion la plus anthropocentrique qui ait jamais existé. Elle dominait la pensée de cette période du Moyen Âge où nous avons situé une première tentative de révolution technologique. S'appuyant sur les préceptes bibliques, « *soyez féconds, multipliez, emplissez la Terre et soumettez-la* », elle enseignait que la domination de l'homme sur la nature est une expression de la volonté divine. Cela tombait très bien car en ce temps là, grâce entre autres à de nouvelles techniques de labourage, l'homme passait du statut d'élément de la nature à celui d'exploiteur de la nature.



**SAGREDO.** – Mais l'homme n'a-t-il pas toujours été un prédateur ?



**ECCOVERDI.** – Certes et c'est paraît-il la condition de sa survie, ce que je conteste. Toutefois, dans les sociétés primitives, il veillait à préserver une nature nourricière à laquelle il rendait hommage à travers différents cultes. On a pu parler à son propos de « sage prédateur ».



**SALVIATI.** – Je crains de vous décevoir en vous disant qu'à mon avis, les sages prédateurs du paléolithique n'étaient sages que par leur petit nombre. L'étendue des dégradations qu'ils apportaient à leur environnement était forcément limitée.



**ECCOVERDI.** – Aujourd'hui, l'espèce humaine est beaucoup plus nombreuse, continue de proliférer et sa culture urbaine l'éloigne de plus en plus de la nature. Elle dispose de technologies puissantes et en développement incessant. Ce que vous appelez par euphémisme dégradation est devenu le saccage d'une Terre que l'humanité devrait respecter comme le faisaient les tribus indiennes d'Amérique avant l'arrivée des Européens. Lynn White fait ce constat que dans la continuité de l'enseignement de l'Église du XIII<sup>e</sup> siècle, l'homme occidental se croit appelé à tout dominer grâce à un progrès technique illimité. Il se voit toujours au centre d'un monde organisé pour lui. Or, depuis Copernic, la Terre n'est plus immobile au centre de l'univers et depuis Darwin, l'humanité n'est qu'une espèce parmi d'autres, simple maillon d'une longue chaîne dans une évolution entamée depuis des milliards d'années et qui n'est pas terminée.



**SAGREDO.** – Vous incriminez l'influence de la religion chrétienne mais le christianisme, c'est aussi François d'Assise, ce très bas qui a vécu au XIII<sup>e</sup> siècle et que le pape Jean-Paul II a proclamé saint patron de l'écologie. Il professait l'humilité et le respect de toutes les créatures, celles-ci étant égales devant Dieu. Lynn White le cite mais pour en faire une sorte d'hérétique. Il prend ainsi quelques libertés avec l'histoire, car François d'Assise fut canonisé deux ans seulement après sa mort et a toujours été une figure majeure du catholicisme.



**ECCOVERDI.** – Je maintiens que, malgré Saint François d'Assise, la vision du monde a été profondément altérée par la pensée judéo-chrétienne qui, comme l'idée de progrès, implique une flèche du temps toujours orientée dans la même direction. Ce n'est pas soutenable. Il convient au contraire de retrouver le sens des cycles naturels et de renoncer à commander la nature.



**SALVIATI.** – Vous semblez oublier que la nature ne fonctionne pas toujours selon des cycles. Regardez par exemple le devenir de l'univers depuis le « big-bang ». Vous avez vous-même cité l'évolution des espèces vivantes qui suit une flèche du temps.



**ECCOVERDI.** – Oui mais ces histoires s'étalent sur des durées extrêmement longues par rapport à la vie humaine. À notre échelle, il vaut mieux s'en tenir aux cycles dont les périodes nous sont directement perceptibles et qui s'imposent à nous. Par exemple, pourquoi avons-nous cessé de vivre avec les saisons ? Comme les récoltes, la production des énergies renouvelables suit un rythme saisonnier. Notre organisation sociale ne peut que gagner à s'y adapter. Un développement technologique indéfini m'apparaît contre nature.



**SAGREDO.** – Si l'on en croit le biologiste Jacques Monod, lauréat du prix Nobel de médecine au siècle dernier, ce développement s'inscrit dans l'évolution de l'humanité qui contrairement aux autres espèces n'aurait pas atteint son point d'équilibre avec son environnement naturel.



**SALVIATI.** – On peut à bon droit douter de la possibilité d'un tel point d'équilibre.



**ECCOVERDI.** – Un objectif des écologistes est précisément de définir un point d'équilibre dont l'existence implique une condition nécessaire : la modération de la demande de biens matériels donc d'énergie.

Pour se donner les moyens de l'atteindre, il convient d'en revenir au droit. Depuis un millénaire, l'homme s'est arrogé le droit de dominer et d'exploiter la nature. Plus grave, fort de sa technologie, l'homme occidental s'est cru investi d'une mission civilisatrice vis-à-vis des autres peuples. Combiné à la cupidité, ce sentiment de supériorité a donné naissance à des délires nationalistes et au colonialisme qui fort heureusement n'a eu qu'un temps. L'héritage judéo-chrétien a contribué à l'asservissement de peuples, souvent convertis de force, et à la traite des esclaves comme à la mise en coupe réglée des ressources et aux atteintes à l'environnement.

Cet excès d'arrogance doit laisser la place au droit reconnu à la nature d'être préservée dans sa diversité. Où ce droit pourrait-il mieux s'exprimer qu'au sein de l'Académie du futur et du Sénat environnemental ? Tel est bien le sens des propositions que font des penseurs soucieux de l'avenir de la planète.



**SAGREDO.** – Mais où serait la démocratie dans un système politique dominé par une idéologie forte ? Les exemples du passé sont à cet égard peu encourageants.



**ECCOVERDI.** – L'élection de sénateurs au suffrage universel sur des listes dressées par les associations environnementales devrait tempérer vos inquiétudes. Je l'avais mentionnée tout à l'heure pour son rôle d'instrument de légitimation. Je la vois aussi comme une extension de la démocratie. Des électeurs éclairés sur l'état de notre planète accorderaient par ce biais une représentation à l'environnement.



**SALVIATI.** – Et comment comptez-vous éclairer les électeurs ?



**ECCOVERDI.** – Par un effort intense de communication et d'éducation.



**SAGREDO.** – Je crains que la tentation ne soit forte de tomber dans la propagande et l'endoctrinement. Si l'apprentissage du respect de

l'environnement doit en effet faire partie d'une éducation responsable, le bourrage de crânes dès le plus jeune âge peut devenir une forme de mise en condition assez violente, vous en conviendrez. Aldous Huxley en avait fait l'un des piliers de la société « idéale » de *Brave new world*. Les régimes totalitaires du XX<sup>e</sup> siècle l'ont organisé sur une grande échelle, rappelons-nous « l'*Opera Nazionale Balilla* ». Il n'en reste pas grand-chose à part l'état d'esprit d'intellectuels nostalgiques. Il me paraît dangereux de vouloir remettre au goût du jour de telles pratiques et de faire de l'environnementalisme l'alpha et l'oméga d'une nouvelle théologie de substitution. Le risque serait grand de dérives vers un supplément d'autoritarisme avec son cortège d'exactions au nom du bien. Verra-t-on se constituer une nouvelle inquisition pour juger les atteintes à l'environnement ?



ECCOVERDI. – Il existe un remède pour prévenir de tels dérapages : la décentralisation. C'est au niveau des territoires que la prise de conscience peut le plus facilement s'épanouir. L'action des associations environnementales est plus efficace à ce niveau où les citoyens se sentent directement concernés. Par exemple, ils vont réserver un accueil favorable à l'idée d'une production locale d'énergie électrique répondant à leurs besoins réels et ils auront la possibilité d'établir de façon démocratique les conditions de sa mise en œuvre. Il est très important pour une transition écologique digne de ce nom que les territoires aient une large autosuffisance. La nouvelle économie doit d'abord reposer sur des circuits courts : consommer sur place la production locale.



SAGREDO. – C'étaient les conditions de vie de la société rurale des siècles passés quand le paysan cultivait la terre d'abord pour assurer la subsistance de sa famille. Je ne pense pas qu'il soit souhaitable d'y revenir.



ECCOVERDI. – Il ne s'agit pas de cela. En y regardant de plus près, à chaque territoire est associée une communauté assez nombreuse

avec souvent une ville importante, nécessairement dense pour éviter le recours aux transports motorisés individuels. La communauté et son territoire forment un bassin d'activités et d'emplois. La vie de cette communauté impliquera des échanges internes qui peuvent très bien se négocier en utilisant une monnaie locale gérée par les habitants en dehors de tout système bancaire ou même à la limite sans monnaie du tout. Il existe sur ce point dans divers pays des expériences concluantes. Cette autonomie partielle sera un élément important de la transition énergétique en raison des économies qu'elle engendre avec la suppression de transports désormais inutiles. Pour vivre mieux en consommant moins, le territoire sera la cellule de base de la démocratie écologique entretenue par la vie associative.



**SAGREDO.** – Les communautés que vous décrivez ne seront pas isolées les unes des autres, j'imagine. Elles devront bien avoir entre elles des relations de dépendance ou d'échange. Les personnes, les biens, l'énergie, l'information, tout doit pouvoir circuler pour le plus grand bien de la société.



**ECCOVERDI.** – Bien entendu, les communautés entreront dans un système d'échange plus vaste. Je reprends mon exemple d'hier : la fourniture d'électricité sera garantie par l'intégration dans un réseau maillé non hiérarchisé à l'exemple des réseaux informatiques. Les énergies renouvelables, majoritairement décentralisées, s'accordent au mieux avec une distribution locale du courant qu'elles produisent et avec ce type réseau au fonctionnement « neuronal », procurant une plus grande capacité d'interconnexions entre utilisateurs et producteurs. Finie la centrale électrique surdimensionnée alimentant une toile d'araignée centrée sur elle ! la géométrie du réseau va devenir fractale.



**SALVIATI.** – Il ne faudrait pas oublier que, pour employer le langage des mathématiciens, la géométrie fractale se caractérise par une

invariance d'échelle : on y reconnaît une même figure quelle que soit la taille de l'échantillon que l'on examine. Le maillage doit se retrouver lorsque l'on considère des ensembles plus grands que la communauté de base à laquelle vous faites allusion. En matière de réseau électrique la toile d'araignée n'existe, centrée sur un transformateur, que pour la distribution basse tension. Le réseau de transport est toujours maillé, mais les mailles à l'échelle d'une nation doivent transporter des puissances considérables. Il convient de calibrer en conséquence les lignes électriques. Cette nécessité implique une hiérarchisation et des méthodes de gestion différentes selon les niveaux concernés.

Au passage, le schéma en toile d'araignée autour d'une centrale n'est pas pertinent. Les réseaux haute tension interconnectés qui, en Europe, traversent les frontières intègrent dans leurs mailles, les usines électriques de grande puissance.



ECCOVERDI. – Mais ces usines sont des installations imposées par un pouvoir central soumis à des lobbys, en l'absence de tout contrôle démocratique.



SAGREDO. – Je remarque à ce propos, que l'on parle de centrale hydroélectrique, thermique ou nucléaire mais que l'on dit ferme éolienne ou solaire, comme si une fois de plus le changement de mot valait certificat de bonne conduite écologique.



ECCOVERDI. – Ce vocabulaire différent recouvre une réalité à la fois physique et sociétale. Les centrales sont de la puissance concentrée sur un domaine restreint entouré d'une clôture et gardé par des cerbères armés. Au contraire, les fermes s'étendent sur de vastes superficies car la puissance du Soleil et du vent est diluée. Ces espaces sont ouverts et, par exemple, l'implantation d'éoliennes est parfaitement compatible avec des activités agricoles auxquelles elles se superposent sans leur apporter de gêne. Nous avons tous vu de superbes photos

de troupeaux ou de meules de foin au pied d'aérogénérateurs. Ces sources d'énergie électrique sont les mieux adaptées à la prise de décision démocratique à l'échelle d'un territoire.



**SAGREDO.** – Sur le plan politique, si la démocratie directe se conçoit au niveau d'une communauté réduite, le nombre impose un changement dans l'exercice des responsabilités avec le passage à la démocratie représentative. Ce sont les assemblées d'hommes libres de l'Athènes du <sup>v</sup><sup>e</sup> siècle avant J.-C. comparées à la Chambre des représentants et au Sénat des États-Unis d'Amérique. Mais, on retrouve l'invariance d'échelle dans les instances exécutives à effectif réduit. Les intrigues, les conflits de pouvoir, les luttes d'influence ou les alliances fonctionnent de la même façon dans un conseil municipal de village et dans un gouvernement. Seul change le montant des budgets en jeu.



**ECCOVERDI.** – C'est un des éléments qui plaident en faveur de l'initiative locale, là où les sommes à engager sont à l'échelle de ce que le citoyen lambda peut imaginer. En passant au niveau gouvernemental, les milliards sont pour lui des abstractions sur lesquelles il n'a aucune visibilité. Seule une minorité oligarchique maîtrise des montants pareils.



**SAGREDO.** – Votre argument me rappelle Cyril Northcote Parkinson, cet historien naval anglais devenu célèbre pour avoir, avec une bonne dose d'un humour très britannique, décrypté les règles non écrites régissant la pratique de la bureaucratie. L'une des lois qu'il avait proposées s'énonce ainsi, dans une réunion :

*« le temps consacré à la discussion d'un article de l'ordre du jour est inversement proportionnel à la somme d'argent dont il est question dans ledit article » (law of triviality).*

L'exemple choisi par Parkinson est devenu un classique des écoles de management : le Conseil d'administration d'une grande entreprise consacre quelques minutes pour approuver la construction

d'un réacteur nucléaire (des milliards de livres) et plus d'une heure pour décider s'il est opportun ou non d'édifier un garage à bicyclettes pour le personnel d'une de ses usines (quelques dizaines de milliers de livres). Parkinson attribuait sa loi au manque de connaissances techniques des membres du conseil associé au caractère abstrait de la somme à engager pour le projet de réacteur. À noter que la loi souffre une exception : elle ne s'étend pas aux menues dépenses que l'on fait sans compter.



ECCOVERDI. – Cette loi de Parkinson confirme à l'évidence mon propos. Elle souligne la difficulté de l'exercice de la démocratie au niveau d'une nation un peu importante. Le Sénat environnemental issu du monde associatif devrait remédier à ce défaut. Nul doute qu'à propos d'un réacteur nucléaire, les arguments avancés au plan local et tendant au refus de sa construction y seraient développés longuement et entraîneraient la décision.



SALVIATI. – Je crains que tout projet un peu important, suscite localement une réaction de rejet. La nouveauté inquiète, comme tout ce qui risque de bouleverser les habitudes. Le syndrome NIMBY (« *Not In My Back Yard* », ou si vous préférez : hors de ma vue !) s'applique aussi bien aux éoliennes, aux usines d'incinération, aux grands barrages... Les lignes de chemin de fer à grande vitesse sont refusées avec des arguments que n'auraient pas reniés les opposants des années 1830 aux modestes réseaux ferrés de l'époque.



ECCOVERDI. – Les atteintes à l'environnement sont en effet mieux perçues dans les territoires. Penser globalement, agir localement, voilà une ligne de conduite saine et qui devrait inspirer toute politique.



SALVIATI. – Il est un domaine où une telle règle doit en effet s'appliquer. Je veux parler de l'adaptation au changement climatique. Celui-ci est déjà bien engagé comme nous l'avons reconnu dans une

discussion précédente. Les mesures destinées à le combattre tardent à venir et leurs effets ne sont pas attendus avant un long délai. Il va donc falloir s'adapter, et vite ! La diversité des conditions à la surface de la Terre fait que les actions seront nécessairement locales, à l'échelle d'une nation ou d'une région.



**ECCOVERDI.** – Je souscris à ces constats et je vais au-delà : l'action locale doit être généralisée. Faisons comme les Suisses qui pratiquent la démocratie directe au niveau des cantons.



**SALVIATI.** – Par référendum, on décide souvent de ne rien changer. Avec un tel système, nous n'aurions jamais eu de chemins de fer.



**ECCOVERDI.** – Pourtant la Suisse en est couverte.



**SAGREDO.** – Oui mais, à part des lignes desservant des stations de montagne, ils sont fédéraux. Tout ne peut pas être décidé au niveau local et c'est vrai aussi en matière d'énergie. La question revient à nouveau de définir une relation entre système énergétique et organisation de la société.



**ECCOVERDI.** – Il existe des réponses évidentes. Par exemple, ne serait-ce qu'en raison de l'argument que nous avons développé sur le coût et la technicité des installations, je vois dans l'électronucléaire le symbole d'une technocratie triomphante au sein d'un État fort. Ce n'est pas un hasard si cette technologie connaît en France, pays excessivement centralisé où les grands corps techniques de l'État sont tout puissants, un déploiement inégalé. On est loin de la démocratie au sens où les écologistes l'entendent.



**SALVIATI.** – Vous venez d'attacher une casserole de plus à l'électronucléaire. D'autres ont été plus loin, allant jusqu'à dire que cette technologie est consubstantielle à un État policier. Or, elle a été mise en

place dans le système électrique de pays aux régimes politiques très différents : tous ne sont pas des dictatures technocratiques.



**ECCOVERDI.** – Vous oubliez le rôle des lobbys dont celui qui soutient le nucléaire. Ils peuvent exercer leur pouvoir de nuisance au cœur même des structures de pouvoir. Ils sont influents à Washington comme à Bruxelles.



**SAGREDO.** – La puissance des lobbys est indéniable à commencer par ceux des hydrocarbures qui sont souvent proches du pouvoir. L'État italien est toujours actionnaire d'ENI (Ente Nazionale Idrocarburi) après en avoir été longtemps l'unique propriétaire. Gazprom est, me semble-t-il, proche du Kremlin. On a connu naguère le pétrole texan à la Maison-Blanche. Il existe des pétromonarchies dont le nom dit ce qu'elles sont.

D'une façon plus générale, on peut observer de nombreuses variations sur le thème de l'adéquation ou non entre sources d'énergie, technostucture et régimes politiques ainsi que des influences réciproques des unes sur les autres.

Le politologue Timothy Mitchell, professeur dans la célèbre université new-yorkaise Columbia et spécialiste du Moyen-Orient, oppose, dans son ouvrage *Carbon Democracy : Political Power in the Age of Oil*, le monde du charbon et le monde du pétrole. L'exploitation du charbon mobilise une abondante main-d'œuvre pour des tâches particulièrement pénibles et nuisibles à la santé. Ces travailleurs, par leur expertise et leur militantisme démocratique, ont eu selon Mitchell un rôle majeur dans les avancées sociales du XIX<sup>e</sup> siècle et de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle. L'industrie pétrolière requiert au contraire une main d'œuvre réduite mais très qualifiée. L'expertise réside dans les bureaux plus que sur le terrain. L'éloignement entre les sites de production et les zones de consommation en fait une activité mondiale dominée par des multinationales qui s'accommodent très bien de pétromonarchies à caractère dictatorial que la rente pétrolière aide

à se maintenir en place. La démocratie qui avançait à l'époque du charbon ne peut que reculer à l'âge du pétrole.

Présentée ainsi, la thèse est un peu caricaturale, mais elle invite à envisager les transitions énergétiques sous un jour différent. Au passage, Mitchell est de ceux qui attribuent aux lobbys des hydrocarbures, une forte influence dans la genèse et la diffusion de l'environnementalisme antinucléaire.



**ECCOVERDI.** – Encore cette vieille antienne qui voudrait que les écologistes soient manipulés ! Mais je retiens des idées de Mitchell, l'efficacité de l'expertise locale à la fois sur le plan technique et sur le plan social. C'était vrai pour le charbon. Ce le sera pour les énergies renouvelables. Des chercheurs nous disent qu'une maison pourrait être autonome en électricité avec sur son toit, des panneaux photovoltaïques dont une partie de l'énergie serait stockée sous forme d'hydrogène obtenu dans un électrolyseur. Alimentant des piles à combustible, cet hydrogène contribuerait à l'alimentation électrique du foyer et même à la propulsion de la voiture familiale.



**SALVIATI.** – Vous êtes en train de nous resservir le socle de la troisième révolution industrielle à la Jeremy Rifkin. Ce programme paraît complètement utopique.



**ECCOVERDI.** – Pas autant que vous le pensez. Les technologies sont connues et maîtrisées. Un peuple instruit, exprimant sa volonté dans une véritable démocratie écologique aurait le pouvoir de les mettre en œuvre.



**SALVIATI.** – En aurait-il les moyens financiers ?



**SAGREDO.** – C'est en effet une question majeure. Aujourd'hui, des technologies renouvelables se développent grâce à des tarifs de rachat

qui sont autant de subventions déguisées. Même si les coûts baissent, je ne vois pas la situation changer dans un avenir proche.



**SALVIATI.** – Et puis je vous rappelle que, dans l'état actuel de l'art, le passage par l'hydrogène est d'une inefficacité notoire.



**ECCOVERDI.** – Je peux répondre à cette question des coûts par une remarque : des prix élevés sont une forte incitation aux économies et à une moindre consommation. Pour un ménage allemand, le kilowattheure est deux fois plus cher que pour un ménage français ; en conséquence, il consomme deux fois moins d'électricité. L'augmentation des prix devrait aussi contribuer à combattre l'effet rebond souvent attaché à une démarche d'efficacité énergétique. Des rendements améliorés peuvent en effet, à travers une réduction des coûts, inciter les consommateurs à changer de comportement vers une multiplication des usages, ce qu'il convient naturellement d'éviter.



**SAGREDO.** – Ce que vous dites à propos du signal-prix est vrai surtout pour les pays développés. Il ne faudrait pas oublier dans nos discussions que l'accroissement de la demande d'énergie va venir de pays émergents dont l'ambition est d'accéder massivement au mode de vie occidental. La moitié de l'humanité réside sur une sorte de triangle dont les pointes sont le Pakistan, le Japon et la Nouvelle-Guinée. Cette immense population, avide de développement, ne nous a pas demandé la permission de s'y lancer. Elle va encore moins se soumettre à des diktats que les écologistes occidentaux voudraient faire appliquer par Nations unies interposées et qui seraient compris comme une nouvelle forme de colonialisme.

Dans cette zone géographique, on ne voit guère de démocraties à part le Japon et l'Inde et dans ce dernier cas, le fonctionnement est pour le moins compliqué. Il est difficile d'imaginer comment, avec le développement, évolueront les régimes diversement autoritaires des autres pays.



**ECCOVERDI.** – Dans la continuité d'une pratique multiséculaire, l'Inde est le berceau des ashrams où des communautés ont pour projet de vivre frugalement en autarcie presque complète. La spiritualité hindoue qui les inspire inclut le respect de la nature et la sobriété en tout. Les ashrams pourraient servir de modèle pour une existence écologique. C'est déjà le cas à Auroville qui reçoit la visite de nombreux occidentaux animés du désir de se ressourcer.

La Chine n'a pas les mêmes traditions mais, par réaction contre les nuages de pollution qui recouvrent les grandes concentrations humaines du pays, des mouvements écologistes commencent de s'y manifester. À mon avis, ces parties du monde vont devenir réceptives à la démocratie environnementale et inaugurer une autre forme de développement.



**SAGREDO.** – Je serai moins optimiste. Rappelez-vous les communes populaires instituées en Chine du temps de Mao Zedong. Elles devaient constituer des unités de production agricoles et industrielles adaptées aux besoins locaux. Le grand bond en avant qu'elles avaient pour mission d'impulser s'est traduit par des famines et des échecs technologiques comme les petits hauts fourneaux ruraux.



**ECCOVERDI.** – C'était une bonne idée, mais un tel changement ne peut réussir que si les initiatives viennent de la base. Imposé d'en haut avec brutalité, c'est l'échec assuré.



**SALVIATI.** – J'ai du mal à imaginer, dans une mégapole, un ashram étendu à 20 millions d'adeptes partageant un idéal de pauvreté heureuse. Je crains que de telles conditions ne puissent être obtenues que par la force. À quand la police écologique ?



**ECCOVERDI.** – Pourquoi une population nombreuse, convenablement éduquée, n'adhérerait-elle pas majoritairement à des idées dont elle serait convaincue de la justesse ?



**SAGREDO.** – De fortes contraintes, même imposées pour le plus grand bien de la planète, ont toutes chances d'être perçues comme un châtiment pour mauvaise conduite et de rencontrer de vives oppositions. Je ne prédis pas un grand avenir à une écologie punitive.



**ECCOVERDI.** – L'écologie ne doit pas être punitive. Elle vise au contraire à procurer une meilleure qualité de vie. Les moyens institutionnels et juridiques dont j'ai parlé devraient contribuer à susciter l'adhésion des citoyens.



**SAGREDO.** – J'ai l'impression que seule la mouvance écologiste fait des propositions en vue d'une société adaptée à la transition énergétique qu'elle préconise. Mais cela demeure au niveau des principes. De toute façon, commencer par organiser la société me fait l'effet de vouloir régler les problèmes de la planète par des lois et des règlements, hors de toute contingence technique ou économique.



**ECCOVERDI.** – L'intérêt de bien des environnementalistes pour l'organisation de la société vient du caractère holiste de la philosophie qui les anime. J'avais mentionné ce point à propos de Biosphère 2. Mutations technologiques induites par la transition énergétique et nouvelles formes de démocratie vont de pair. Et contrairement à vos craintes, le cadre juridique ne viendra pas en premier. Il évoluera au même rythme que le reste.



**SALVIATI.** – Mais remplacer une source d'énergie par une autre pour un même service ne représente pas un véritable bouleversement. Les arguments de Mitchell à propos du pétrole comme ceux d'Ecoverdi à propos de l'électronucléaire pour en faire les vecteurs de profondes transformations sociales me paraissent un peu forcés.



**SAGREDO.** – Certains voient dans l'élimination du capitalisme la clé qui permettra de résoudre tous les problèmes. C'est oublier que le

capitalisme possède une forte capacité d'adaptation aux changements technologiques. Il en va de même pour la démocratie représentative de nos pays occidentaux.

Il me semble que le plus souvent des considérations économiques imposent les choix. Le pétrole était naguère moins coûteux à extraire, plus facile à transporter et à distribuer que le charbon. Le raffinage ajoutait un surcoût trop faible pour nuire à la compétitivité du pétrole qui s'est donc imposé sur le marché dans le dernier tiers du <sup>xx</sup>e siècle. Aujourd'hui, en ces temps de cours élevé du baril, il reste incontournable pour les transports. Pour la production d'électricité, les gaz de roche-mère aux États-Unis ou le charbon un peu partout dans le monde reviennent moins chers. Pendant la première décennie de ce siècle, la consommation de charbon présente une hausse spectaculaire. C'est le combustible le plus abordable pour les pays émergents. Il contribue majoritairement à la production d'électricité.



**ECCOVERDI.** – Mais c'est aussi le plus fort émetteur de gaz à effet de serre et le plus polluant. Il est nécessaire d'en minimiser l'emploi. Cet impératif s'applique aussi aux autres combustibles chimiques ou nucléaires.



**SALVIATI.** – Pour ma part, je crains les effets potentiels d'une réduction imposée de la consommation d'énergie. Les gains accessibles sans sacrifices majeurs sont modérés, peut être 30 % avec le risque d'être rapidement compensés par un accroissement de la demande. Vouloir aller au-delà, par exemple une diminution durable par un facteur deux, y compris pour la puissance électrique, n'est concevable qu'avec des restrictions infligées par une gouvernance autoritaire ou un cataclysme majeur comme un effondrement économique.



**ECCOVERDI.** – Je maintiens qu'une telle transition pourrait s'opérer en douceur et sans crise dans le cadre d'une démocratie écologique.

Cela peut vous paraître utopique, mais on a vu d'autres utopies se réaliser.



**SALVIATI.** – On l'a vu en effet, mais c'était la conséquence de développements technologiques spontanés et non de lois inspirées par une quelconque idéologie qu'elle soit scientifique ou antiscience. Les développements qui ont contribué à faire évoluer la société n'étaient pas planifiés. Ils ont été le produit d'initiatives individuelles : de chercheurs pour avoir des idées, d'entrepreneurs pour les mettre en application. C'est ainsi que les systèmes électriques ont vu le jour et se sont répandus dans nos pays pendant les cinquante années à cheval sur les XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles. Nul n'aurait eu à l'époque l'idée saugrenue d'instituer des Commissariats à l'énergie électrique pour piloter les recherches et les développements.

De la même façon, ce ne sont pas des « plans calcul » gouvernementaux qui ont provoqué la généralisation de l'informatique, mais des entreprises créées par des illuminés de génie dont l'exemple emblématique est Steve Jobs. Et, dans ce domaine, on peut à bon droit parler d'une révolution qui a déjà des impacts sociétaux. Elle est essentiellement le fait d'Internet associé d'une part à des ordinateurs de plus en plus puissants sous un faible volume et d'autre part à des « *smart phones* » et autres tablettes. Voilà des outils extraordinaires pour la diffusion de l'information surtout depuis la création des réseaux sociaux. Les relations entre les hommes s'en trouvent irréversiblement modifiées.



**SAGREDO.** – Voulez-vous dire par là que la société numérique en train de naître ne ressemblera pas à la société qui l'a précédée ?



**SALVIATI.** – C'est en effet à prévoir. Je ne me hasarderai pas à vous annoncer le sens de l'évolution à venir. Cependant, on perçoit déjà des tendances. Ainsi, par le monceau de données qui circulent sur les réseaux informatiques, Internet apporte une contribution décisive à

la mondialisation des échanges et peut-être à l'uniformisation des cultures. On a vu aussi monter des mouvements de protestation par l'intermédiaire de « facebook » ou de « twitter ». De tels réseaux sociaux pourraient servir à façonner l'opinion voire à galvaniser les foules.



**SAGREDO.** – N'y aurait-il pas là quelque danger ?



**SALVIATI.** – Dans l'esprit des gens en place, certainement. Ce n'est pas d'aujourd'hui qu'ils craignent de perdre tout ou partie du contrôle de l'information. Chaque apparition d'un nouveau moyen de communication, l'imprimerie, le téléphone... a été saluée par l'expression des mêmes inquiétudes. Je suppose qu'à la fin du néolithique, il s'est trouvé de beaux esprits pour déplorer l'invention de l'écriture.

La société numérique présente cependant quelques nouveautés : d'abord, l'étendue planétaire d'Internet, ensuite la vitesse de transmission des données qui voyagent dans les faisceaux hertziens à la vitesse de la lumière et dans les câbles, à la vitesse du signal qui n'est que légèrement inférieure. À chaque instant, un internaute peut tout savoir sur tout et n'importe qui, en quelque endroit que ce soit, grâce à des moteurs de recherche s'appuyant sur des centres de traitement de données de très grande puissance. Il en résulte une transparence plus grande que par le passé. Certains vont jusqu'à prévoir une disparition de toute vie privée.

Un autre problème est que les nouvelles, bonnes ou mauvaises, ou encore les rumeurs, fondées ou non, se propagent quasi instantanément ce qui peut conduire à des mouvements d'opinion particulièrement brutaux.



**SAGREDO.** – Ainsi, selon vous, les techniques d'information et de communication risquent d'accentuer les secousses à venir dans une société instable. J'en comprends l'importance, mais nous discutons d'énergie. Où est le rapport ?



**SALVIATI.** – Il est *a priori* indirect. Les technologies de l'information entraînent un surplus de consommation de puissance électrique. Les centres de traitement de données sont d'énormes sources de chaleur fatale qu'il serait intéressant de ne pas laisser perdre. Les installer dans le Grand Nord pour évacuer plus facilement les calories n'est pas une solution. Il vaudrait mieux les avoir à proximité des grandes agglomérations pour alimenter les réseaux de chauffage urbain. L'invasion de l'informatique dans les pays développés et les pays émergents va aussi permettre d'optimiser certains usages de l'énergie. Elle ne peut manquer d'influencer fortement la société. La société numérique et le système énergétique vont nécessairement devoir s'adapter l'une à l'autre. Ne me demandez pas comment !



**ECCOVERDI.** – Je pense pour ma part qu'informatique individuelle et décentralisation de la production d'énergie vont aller de pair pour le plus grand bien de notre planète. Cela s'accorde tout à fait avec la préférence des écologistes pour l'exercice local de la démocratie. D'ailleurs, les jeunes créateurs des moteurs de recherches et des réseaux sociaux me semblent posséder une certaine fibre environnementale.



**SAGREDO.** – Vous semblez voir poindre une société écologique selon vos désirs. Mais n'êtes-vous pas comme ces socialistes utopistes du XIX<sup>e</sup> siècle qui échafaudaient des projets de société aussi parfaits à leurs yeux qu'irréalisables dans les faits ? Si l'on ne saurait douter du changement que l'organisation de la société est appelée à connaître avec la transition énergétique, il me paraît vain de vouloir en définir dès aujourd'hui la forme et malsain de vouloir l'imposer. L'histoire montre que les modèles de société à forte connotation idéologique et mis en pratique par la force ont fini lamentablement.

Revenons plutôt à cette transition énergétique dont tout le monde parle sans qu'elle soit définie avec précision. J'ai bien compris qu'elle est imposée par la limitation des ressources et l'obligation de réduire

les émissions de gaz à effet de serre et que sa mise en œuvre, contrariée par l'inertie de tous les acteurs, est encore à venir. Mais vous avez apparemment des visions différentes de son contenu. Eccoverdi préconise une réduction drastique de la consommation et le recours massif aux renouvelables, le tout à bref délai, réalisant ainsi la transition brutale du schéma que Salviati nous a présenté hier. Est-ce réaliste ?



**SALVIATI.** – Je suis persuadé que non. D'abord parce qu'une transition énergétique, est nécessairement un processus de longue haleine sauf d'en passer par une catastrophe économique de grande ampleur, ce que personne ne souhaite. La grande transition du XIX<sup>e</sup> siècle s'était étalée sur une bonne centaine d'années et je ne pense pas que dans ce domaine, l'histoire s'accélère. Prenez le cas des combustibles fossiles. En soixante ans, à l'échelle planétaire, la part du charbon dans la fourniture totale d'énergie qui était de 5 % en 1840 est devenue 50 % en 1900. Dans un même laps de temps ou presque, entre 1915 et le premier choc pétrolier de 1973, le pétrole est passé de 5 à 40 %. Même chose un peu plus tard pour le gaz naturel : 5 % en 1930, 25 % en 1995. En 2012, les renouvelables qualifiés de modernes : éolien, solaire et biocarburants, à eux trois n'en étaient qu'à 3,5 %.

Nous construisons aujourd'hui des infrastructures qui seront encore présentes dans un demi-siècle. Il n'y a pas si longtemps, la Chine mettait en service une centrale à charbon par semaine. Le rythme s'est un peu ralenti mais en 2050, la plupart seront encore en activité. Heureusement, les chinois investissent aussi dans les énergies décarbonées. N'oublions pas qu'ils construisent des réacteurs nucléaires de troisième génération, qu'ils installent des champs d'éoliennes dans l'ouest de leur pays et qu'ils ont réussi à casser le marché du photovoltaïque avec leurs panneaux à bas coût. Ensuite on peut faire parler les chiffres. En admettant que chacun des neuf milliards d'êtres humains de 2050 puisse disposer en moyenne de 2 tep

d'énergie primaire par an, ce qui est légèrement supérieur à la valeur moyenne d'aujourd'hui (1,7 tep), on arrive à un total de 18 milliards de tep (18 Gtep) annuels soit à l'échelle planétaire, 50 % de plus que pendant l'année 2010.



**ECCOVERDI.** – Dans nos pays développés d'Europe, avec 2 tep par habitant et par an, on retrouve la consommation des années 1960. Nous utilisons aujourd'hui deux fois plus d'énergie pour une qualité de vie à peine supérieure comme le montre cet indicateur dont nous avons déjà parlé : l'indice de développement humain (IDH). Un effort d'efficacité associé à une culture de sobriété devraient permettre de ramener la consommation annuelle à ces 2 tep par habitant. Prenons exemple sur Hong Kong dont la consommation est à ce niveau : ville dense, transports en commun, IDH élevé dans la fourchette haute de l'indice des pays d'Europe occidentale.



**SALVIATI.** – Je note cependant que Hong Kong est situé à une latitude où ni chauffage en hiver ni climatisation en été sont indispensables. Singapour, comparable par la densité mais proche de l'équateur dans une ambiance chaude et humide qui impose de climatiser, consomme trois fois plus par tête d'habitant. La transposition à l'Europe du cas de Hong Kong ne va pas de soi.



**ECCOVERDI.** – Je reconnais que pour la consommation d'énergie, une réduction d'une telle ampleur, un facteur 2 à qualité de vie préservée, est un défi considérable. Or, pour le bien de notre planète, cette transition énergétique doit être menée très vite. C'est possible. Il y faut une forte volonté politique. Je me réjouis de constater que les gouvernements d'Europe occidentale adoptent cet objectif mais je déplore que l'horizon 2050 soit un peu lointain. L'exemple allemand de l'« *energiewende* » montre que sous la pression de l'opinion, il est possible de sortir de l'électronucléaire en dix ans pour le remplacer par de l'électricité renouvelable.



**SALVIATI.** – Ce tournant volontariste et coûteux concerne uniquement un petit quart de la production d'électricité qui elle-même se limite à 25 % du total de la consommation allemande. Il se réduit à une simple substitution énergétique à un niveau minoritaire. Une forte baisse de la consommation n'est pas au rendez-vous et les émissions de CO<sub>2</sub> augmentent.



**ECCOVERDI.** – Mais la décroissance de la population, attendue dans ce pays par les démographes, devrait aider à réduire les consommations dans tous les usages de l'énergie. J'ajoute que la démocratie ne paraît pas menacée en République fédérale.



**SAGREDO.** – Je pense inutile de revenir sans cesse sur le cas de l'Allemagne. Les autorités y ont enclenché une expérience certes intéressante à plus d'un titre mais controversée. Laissons-nous le temps d'en juger les résultats et passons à autre chose. Par exemple, élevant le débat, pouvons-nous répondre à cette question : si les individus n'acceptent pas librement de limiter leur consommation d'énergie, doit-on prendre des mesures coercitives au risque de provoquer des explosions sociales ?



**SALVIATI.** – Pour éviter d'avoir à le faire, il convient de recadrer les objectifs de la transition énergétique. Aussi bien l'épuisement des ressources fossiles que la menace d'un réchauffement global imposent une priorité : décarboner le système énergétique. Ce n'est pas la consommation d'énergie qu'il faut réduire, ce sont les émissions de gaz à effet de serre dont d'abord le CO<sub>2</sub>.



**ECCOVERDI.** – En réduisant la première, on réduit automatiquement les autres. Et puis on pourrait instituer une redistribution des richesses plus efficace. C'est le meilleur moyen d'amortir les chocs susceptibles de secouer la société.



**SAGREDO.** – Décréter et faire appliquer par la contrainte une baisse massive de la consommation d'énergie a toute chance d'enclencher un cycle de décroissance qui ne peut aboutir qu'à étendre la pauvreté. J'ai l'impression que vous proposez une sorte d'économie de guerre. À part l'antique Sparte, cité militaire s'il en fut, on a rarement vu une société se satisfaire de la pénurie et du rationnement qui va avec.



**SALVIATI.** – Ce serait déjà bien si, dans les nations développées, on réussissait à stabiliser la consommation d'énergie tout en continuant d'innover. Un meilleur résultat serait une réduction de 30 % par rapport à aujourd'hui. C'est possible et l'envisager n'est pas faire preuve d'un irréalisme excessif. L'important sera, j'insiste, de faire appel à des sources d'énergie décarbonées. Hydrocarbures et charbon avec CCS, renouvelables, nucléaire seront mis à contribution en proportions variables suivant les pays qui ne disposent pas tous des mêmes ressources et ne partagent pas les mêmes opinions. Si les transformations se font de façon progressive, étalée sur des décennies, l'organisation sociale a plus de chances de s'adapter avec un minimum de heurts.



**ECCOVERDI.** – Cette évolution lente ne répond pas à l'urgence des problèmes. Il ne faudrait surtout pas sacrifier l'environnement à la pérennité d'un système économique dont nous subissons chaque jour les effets délétères.



**SAGREDO.** – Vous êtes convaincus l'un et l'autre de la nécessité d'une transition énergétique et vous approuvez le volontarisme proclamé des instances nationales et internationales qui souhaitent la mener à bien. Mais vos conceptions de son contenu et de ses modalités de mise en œuvre émanent de courants de pensée manifestement divergents. Sur les trois sujets qui me viennent spontanément à l'esprit : les objectifs de la transition, la gouvernance pour la conduire, l'organisation sociale qui en résultera, vos positions sont aux antipodes les unes des autres.

Nous avons abondamment disserté sur les deux derniers points. Quant aux objectifs, je retiens qu'ils sont très ciblés pour Salviati : une réduction par un facteur 2 à l'échelle planétaire (4 dans les pays développés) des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050 et poursuite de la décarbonisation au-delà. Ils me paraissent à la fois plus ambitieux mais assez flous du côté d'Eccoverdi : une évolution plus rapide et de champ d'application plus vaste visant une transition écologique destinée à réintégrer, au sein d'une nature sacralisée, une espèce humaine aspirant à la pauvreté heureuse. La forte réduction des consommations de tous ordres entraînerait automatiquement une transition énergétique.

Sauf de modifier radicalement l'organisation et l'exercice des pouvoirs, l'avenir du couple infernal énergie-environnement dépend de négociations climatiques organisées au niveau des Nations unies et qui depuis des décennies marquent le pas. La prise de conscience existe à tous les niveaux, mais le fossé à franchir avant des décisions effectives est encore bien large. L'antagonisme depuis longtemps établi entre économie et protection de l'environnement se dissoudra si les États comme le monde industriel y trouvent leur compte.

Au fil des millénaires de l'holocène, l'humanité a créé son environnement. Quoi qu'en pensent les écologistes les plus extrêmes, on ne reviendra pas à une nature « vierge » d'avant l'anthropocène. L'espèce humaine n'a plus à se comporter en conquérante de la planète. La conquête est achevée. Que ce soit un bien ou un mal est à mes yeux un débat dépassé. Contrairement à la plupart de leurs ancêtres, nos contemporains ont bien intégré l'idée que nous n'avons qu'une seule Terre. Elle est un jardin que nous avons aménagé avec plus ou moins de bonheur. Les ressources n'y sont pas infinies. Il faut se donner les moyens de gérer au mieux ce jardin planétaire.

Le célèbre économiste John Kenneth Galbraith qui fut conseiller du président Kennedy a écrit quelque part :

*« la politique consiste à choisir entre le désastreux et le désagréable ».*

En matière d'énergie et d'environnement, nous sommes à l'heure des choix.

Le désastreux serait d'en rester au stade des palabres : les décideurs publics et privés sont conscients des problèmes, identifient les objectifs, mais, depuis 20 ans, n'arrivent pas à se mettre d'accord sur la façon de les atteindre. Ils gèrent leur territoire à la petite semaine, contraints qu'ils sont ou plutôt qu'ils croient être par une situation économique difficile. La consommation d'énergie continue de croître au-delà du supportable. L'effondrement de la civilisation industrielle est dans ces conditions inévitable. Ainsi se réaliseraient les pires scénarios de Dennis Meadows et du club de Rome.

Sur l'autre plateau de la balance, toute action volontariste amorcée par des instances internationales, des États ou d'autres collectivités... entraînera des désagréments. Personne n'y échappera : les politiciens obligés de renoncer à la démagogie et donc de mettre en danger leurs sièges, les entreprises qui devront se plier à des normes plus sévères, les citoyens ordinaires qui auront à repenser leur confort et leur mobilité. L'ensemble de la communauté humaine en sera affecté dans ses institutions comme dans ses modes de vie.

À n'en pas douter, la Terre demain, sera dans un état différent de celui d'aujourd'hui. Nos sociétés seront-elles en mesure de supporter les efforts et parfois les sacrifices nécessaires à une évolution exempte de catastrophes ? Telle est la question à laquelle aucun de nous n'est en mesure d'apporter de réponse. Nous n'avons fait en réalité qu'exprimer des souhaits. Nul n'est maître de l'avenir qu'il imagine pour l'ensemble de la société. Chacun de nous ne peut que contribuer par ses actions à faire en sorte que cet avenir soit le meilleur possible.

Sur cette ultime réflexion, je vous propose de clore nos discussions et avant de nous séparer, je vous convie à une dernière promenade jusqu'à une petite forteresse médiévale, le *Castello di Vezio*, sur la hauteur qui domine la ville de Varenna. Avec le temps qui s'annonce pour cette fin d'après-midi, la vue sera somptueuse.

**This page intentionally left blank**

*Composition : Patrick Leleux PAO  
14000 Caen*