

PIERRE AGUESSE

LE MANIFESTE D'UN ÉCOLOGUE

Quelle écologie pour
remplacer l'écologisme ?

Les composantes de la biosphère : la **lithosphère** nue ou couverte de végétation, l'**hydrosphère** (l'océan) et l'**atmosphère** terrestre



Université Mohammed V- Rabat

PUBLICATIONS DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE

Indexation et téléchargement, voir site web <http://www.israbat.ac.ma>

SERIES EDITEES

- *Bulletin de l'Institut Scientifique* : articles originaux, notes brèves... Série annuelle, multidisciplinaire, spécialisée depuis 2001 en 2 sections, Sciences de la Terre et Sciences de la Vie. Distribution mondiale.
- *Travaux de l'Institut Scientifique* : monographies, mémoires, actes de colloques, cartes... 4 séries : Série Générale, Sér. Géologie et géographie physique, Sér. Botanique et Sér. Zoologie. Parution irrégulière. Distribution mondiale.
- *Documents de l'Institut Scientifique* : rapports, conférences, guides de terrain, inventaires bruts.... Parution irrégulière. Distribution limitée.

EQUIPE EDITORIALE

DIRECTION : Le Directeur de l'Institut Scientifique

RESPONSABLE D'EDITION : Mohamed FENNANE

Editeur Sc. Terre : Hamid SLIMANI

Editeur Sc. Vie : Oumnia HIMMI

Comité éditorial : Mohamed DAKKI, Souad EL BLIDI, Driss EL OUAI, Mohamed FENNANE, Oumnia HIMMI, Mohammed HOUMINE, Abdelkrim RIMI, Hamid SLIMANI

ADMINISTRATION : Mohammed HOUMINE

Secrétariat : Es-sâdia EL MOUKANE

Echanges : Malika LAMNINI, Meryem SAHEL

Gestion du Stock : Abderrahim ALAOUI

Vente : Aziz CHOUILI

CONTACT : Université Mohammed V, Institut Scientifique, Service Edition et Bibliothèque,
Av. Ibn Battouta, B.P.703 Agdal, 10106, Rabat, Maroc. **Tél** : 0537774549/50 **Fax** : 0537774540

Email : edition@israbat.ac.ma ; **Site web** : <http://www.israbat.ac.ma>

Université Mohammed V- Rabat
Institut Scientifique

PIERRE AGUESSE

LE MANIFESTE
D'UN
ÉCOLOGUE

Quelle écologie pour
remplacer l'écologisme?

Photo couverture : le littoral de Marie Galante. P. Aguesse, 2006.

Dépôt légal : 2014 MO 2351
ISBN : 978 - 9954 - 20 - 673 - 7
ISSN : 0251 - 4249

Sommaire

AVANT-PROPOS	5
INTRODUCTION	7
LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE	7
LES OGM, ORGANISMES GENETIQUEMENT MODIFIES.....	23
L'ENERGIE	28
CONCLUSIONS	44

AVANT-PROPOS

Excédé par l'amalgame qui se fait dans l'esprit du public à propos des termes écologie, écologiste, écologisme ou écologue, j'ai décidé d'en faire une mise au point afin d'éviter les confusions et de préciser ce qui se cache derrière chacun de ces mots.

L'écologie n'est pas une idéologie encore moins une religion (Pascal Bruckner, le fanatisme de l'apocalypse, Éditions Grasset, 2011) mais une science dont le nom fut créé en 1886 par un biologiste allemand, Ernst Haeckel, qui en donnait la définition suivante: "c'est la connaissance de l'économie de la nature, l'investigation de toutes les relations d'un animal à la fois avec son milieu inorganique et organique, incluant par-dessus tout, ses relations amicales et antagonistes avec ceux des animaux et des plantes avec lesquels il entre directement en contact. En un mot, l'écologie est l'étude de toutes ces inter-relations complexes considérées par Darwin comme les conditions de la lutte pour la vie. Cette science de l'écologie a longtemps formé le principal élément de ce qui est habituellement considéré comme histoire naturelle". Ce ne sera qu'aux environs des années 1960-1970, d'abord aux Etats-Unis puis en Europe, que l'écologie humaine fera son apparition, incluant l'influence de l'homme sur la nature et ses composantes, suscitant du même coup l'intérêt de la classe politique.

L'écologiste est pendant longtemps le scientifique étudiant l'écologie jusqu'à ce que la politique s'en mêle, entraînant les confusions actuelles. Désormais, comme la quasi-totalité des scientifiques impliqués dans cette science, je considère que les écologistes sont soit des politiciens soit des militants appartenant aux différents mouvements écologistes, partis politiques dont l'idéologie consiste à préconiser une croissance zéro, voire une décroissance, afin de limiter au maximum l'impact de l'homme sur les ressources naturelles, celles-ci constituant en fait pour la majeure partie des écologistes un argument pour justifier toutes les contraintes qu'ils souhaitent imposer de gré ou de force (Nicolas Hulot, à Copenhague, en 2009).

Cette idéologie dénommée écologisme par certains est apparue avec la quasi-disparition du communisme et la publication au début des années 1970 des travaux réalisés par le Club de Rome et publiés en France en 1972 sous le titre "Halte à la croissance" (Éditions Fayard). J'emprunte ici ce qu'ont écrit au début de l'été 2012 deux anciens ministres français de l'Éducation Nationale, Claude Allègre et Luc Ferry, dans le journal Le Figaro daté des 30 juin / 1 juillet 2012 : "Dans le grand vide idéologique laissé par l'effondrement du communisme, ceux qui y voyaient leur religion de salut terrestre disparaître croyaient tenir une nouvelle planche de salut. Comme l'avait confessé Alain Lipietz, après avoir rompu avec le

maoïsme, "on venait au vert par le rouge". En clair: les luttes anticapitalistes ayant tourné au désastre sur le front du communisme, elles allaient retrouver une seconde jeunesse grâce à l'écologisme". Ce qui explique la forte coloration à gauche des écologistes.

Et ces anciens ministres d'ajouter, ce qui justifie, même si cela me semble être quelque peu prématuré, le titre de leur article "L'Écologisme est mort, vive l'écologie !" : "ce qui condamne l'écologisme, c'est sa passion mortifère pour les interdits, la tristesse de son idéologie, son absence de perspective. Pour autant, les problèmes posés à une écologie véritable sont plus sérieux que jamais". Et d'énumérer, dans l'ordre, les problèmes à résoudre: la démographie, le traitement des déchets urbains, les matières premières et l'énergie. Et c'est là que mon point de vue diffère de celui des deux anciens ministres lorsqu'ils écrivent en conclusion : "C'est cette nouvelle écologie, porteuse d'avenir et de développement, que nous ne cessons de défendre depuis des années. Elle devient urgente, pour ne pas dire vitale, mais elle ne pourra se déployer qu'à l'écart des idéologies catastrophistes, pour ne pas dire néototalitaires".

Il me semble en effet comprendre dans ce discours que les auteurs préconisent un écologisme bis, nouvelle idéologie plus optimiste et soucieuse de développement mais je ne vois pas du tout y apparaître les fondamentaux de la science. Comment d'ailleurs pourrait-il en être autrement étant donné que les auteurs ne sont ni l'un ni l'autre spécialiste d'écologie, la science bien sûr?

Reste à parler des écologues. C'est la nouvelle appellation réservée aux scientifiques effectuant des recherches en écologie afin de bien les distinguer des écologistes, politiciens ou militants pratiquant, quant à eux, l'écologisme. En réalité, ce terme d'écologue ne constitue qu'un pis aller et n'est que la traduction germanique de l'écologiste, appellation plutôt anglo-saxonne des chercheurs en écologie. Il me semblerait plus logique d'inventer un nouveau nom à la fois pour la science et ceux qui s'y consacrent afin d'éviter une fois pour toutes les confusions: j'ai suggéré dans mon livre paru en 2012 "L'écologie: science ou politique?" (Éditions Persée) de remplacer écologie par écobioécologie et donc écologue par écobioécologue ou écobioécologiste.

Toutefois, dans l'état actuel des choses, je continuerai d'utiliser ici pour les scientifiques la dénomination d'écologues en précisant bien que les chercheurs spécialisés en écologie ne sont pas obligatoirement colorés politiquement à gauche et peuvent avoir des opinions politiques n'ayant rien à voir avec celles des écologistes.

Le vocabulaire utilisé étant ainsi précisé, je peux désormais aborder l'objet même de ce manifeste qui est de situer un écologue par rapport à trois thèmes très actuels et particulièrement sensibles, le réchauffement climatique, les OGM et l'énergie.

INTRODUCTION

Qu'on le veuille ou non, tous les médias écrits, parlés ou télévisés se font volontiers les porte-paroles des opinions émises par les écologistes, beaucoup plus doués pour la communication que les écologues.

C'est pour cette raison que l'on peut lire ou entendre de véritables aberrations sur les trois sujets pour lesquels je voudrai préciser le point de vue d'un écologue (le réchauffement climatique, les OGM, l'énergie).

On dit tout et n'importe quoi à leur propos alors que nos connaissances ne sont que très fragmentaires mais progressent et évoluent régulièrement comme celles de toute science. Ce qui signifie aussi que ce qui est considéré comme acquis aujourd'hui sera peut-être remis en question demain à la lumière de nouvelles découvertes: c'est la raison pour laquelle, souvent, après avoir indiqué l'état actuel de nos connaissances, j'éviterai d'en tirer des conclusions définitives et me limiterai, en espérant susciter la réflexion chez le lecteur, à souligner les nombreuses incertitudes qui demeurent, ainsi que les directions dans lesquelles des recherches devraient être poursuivies afin d'améliorer nos connaissances et d'aboutir peut-être dans un proche avenir à des certitudes.

Pour chacun des trois thèmes abordés, je suivrai le même plan: je commencerai par traiter ce que j'appellerai le point de vue officiel qui est le plus souvent celui imposé par les écologistes puis je donnerai ensuite le point de vue de l'écologue que je suis, c'est à dire du scientifique qui tente de faire le point de nos connaissances actuelles en utilisant l'expérience acquise au cours d'une soixantaine d'années de pratique de l'écologie.

LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Depuis une vingtaine d'années, c'est un sujet qui fait souvent la une des journaux ou des informations télévisées et radiophoniques. L'écologie en est partie prenante car les facteurs température, humidité, précipitations atmosphériques peuvent se trouver modifiés par le réchauffement climatique. Et ces facteurs sont essentiels à la vie, voire à la survie des végétaux et des animaux à la surface de la terre.

Le point de vue "officiel"

Il se trouve dans les rapports préparés par le GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat, ce qui en anglais devient l'IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change), organisme créé en 1988 à la demande du G7 par deux organisations onusiennes, l'Organisation Météorologique Mondiale (l'OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (le PNUE). L'objectif donné au GIEC est de fournir à l'ONU, donc aux décideurs politiques de la planète, "les informations d'origine scientifique, technique et socioéconomique nécessaires pour mieux comprendre les fondements scientifiques des risques liés au changement climatique d'origine humaine". Ces rapports sont actuellement au nombre de 4 publiés respectivement en 1990, 1995, 2001 et 2007. Le prochain doit paraître en 2014, mais le pré rapport a été publié fin septembre 2013. Chacun de ces rapports se termine par un résumé à l'intention des décideurs.

Tous ces rapports vont, comme on pouvait s'y attendre, dans le sens de la mission impartie au GIEC, c'est à dire qu'ils affirment que le réchauffement climatique observé est bien d'origine humaine et provient pour l'essentiel des dégagements de gaz carbonique, CO₂, provenant de l'industrialisation et de l'utilisation effrénée du carbone fossile, charbon et pétrole plus particulièrement. Selon le GIEC (et les Écologistes) l'augmentation de la teneur en gaz carbonique provoque le réchauffement climatique par effet de serre: effectivement, cette

concentration en CO₂ dans l'atmosphère qui était de 290 ppm (parties par million) au début du XX^{ième} siècle, atteint désormais 365 ppm.

Il est sans doute utile de préciser ce que l'on entend par effet de serre: des gaz lourds ayant tous des molécules au moins tri-atomiques (le CO₂ bien sûr mais aussi H₂O la vapeur d'eau, CH₄ le méthane, N₂O l'oxyde nitreux et l'ozone O₃ sont les principaux gaz à effet de serre) montent dans l'atmosphère terrestre jusqu'à la tropopause (vers 10 km d'altitude en moyenne) grâce à des courants ascendants dits de convection. Les rayons du soleil traversent ces gaz sans problème mais les rayons réfléchis par les sols et les océans (un peu moins des 2/3 de ce qui provient du soleil), de longueurs d'ondes différentes de celle des rayons directs, restent piégés dans la troposphère, provoquant l'élévation de la température. Je précise, toutefois, qu'il est fort heureux pour nous qu'existe cet effet de serre car c'est grâce à lui que la température moyenne observée à la surface de la terre se situe entre +14 et +15°C. Sans l'effet de serre, la température moyennese situerait aux environs de -18°C et nos océans seraient totalement gelés des pôles jusqu'aux tropiques.

Le point de vue d'un écologue

Pour l'écologue, il est primordial d'avoir une vue d'ensemble de la situation et pour cela de s'en référer aux enseignements donnés par l'histoire de notre planète.

Depuis un peu plus de 4,5 milliards d'années que la terre existe, les conditions de température ont très souvent évolué à sa surface, conduisant aux répartitions de la flore et de la faune que nous connaissons actuellement. Je rappelle en passant qu'en 4,5 milliards d'années, même la physionomie d'ensemble de la planète a considérablement changé et la partie des continents aujourd'hui émergée n'a pas toujours été celle que nous connaissons de nos jours. C'est pour cette raison que l'on trouve par exemple des fossiles d'animaux marins à plus de 1000 ou 2000 mètres d'altitude sur des montagnes qui furent jadis des océans dont les fonds ont été soulevés sous l'action des plissements successifs de l'écorce terrestre, le plus récent étant le plissement alpin qui a débuté il y a environ 60 millions d'années et dont certains géologues affirment qu'il n'est pas encore totalement terminé.

Il en est de même pour les températures dont les variations connues sont résumées par le schéma de la figure 1: à gauche on y trouve les étages géologiques et leurs âges en millions d'années (à noter que l'échelle du schéma est variable et n'est pas proportionnelle à la durée de chaque période géologique). Au centre, sont recensés les principaux événements survenus au cours des périodes successives; enfin, à droite dans la dernière colonne, sont indiquées les variations de la température pour ces mêmes périodes géologiques.

Il est tout de suite évident sur ce schéma que les périodes chaudes (en grisé) ont très largement dominé les périodes froides (en blanc) : pour une durée totale du froid de 885 millions d'années, on a, pour la durée des périodes chaudes 3,615 milliards d'années. On y observe également que depuis plus de 35 millions d'années c'est le froid qui l'emporte très largement et que nous sommes encore actuellement dans une période froide, les dernières glaciations du quaternaire (en noir) étant toutes proches de nous, à l'échelle géologique du temps bien sûr. Les durées et l'intensité de ces glaciations sont très variables: pour celles observées durant le Protérozoïque, le Primaire et le Secondaire (je devrais dire le Paléozoïque et le Mésozoïque), leurs durées ont varié entre 30 et 420 millions d'années, la plus longue, le Cryogénien, ayant laissé des traces géologiques sous forme de conglomérats glaciaires jusqu'au Cameroun, pratiquement sous l'équateur. Selon les spécialistes, pour les glaciations du Quaternaire, il y a eu 4 périodes glaciaires dans le courant des 600 000 dernières années, la plus récente étant connue en Europe sous le nom de glaciation de Würm, sans parler du "petit âge glaciaire" qui s'est déroulé sur 3 siècles seulement, du 14^{ième} au 17^{ième} siècle de notre ère.

Grâce aux forages effectués dans les glaces de l'Antarctique, il est possible d'avoir une idée

précise de ces successions quaternaires de périodes glaciaires qui, sur 450 000 ans, mettent en évidence qu'il existe un cycle d'une durée de 100 000 ans (Fig. 2).

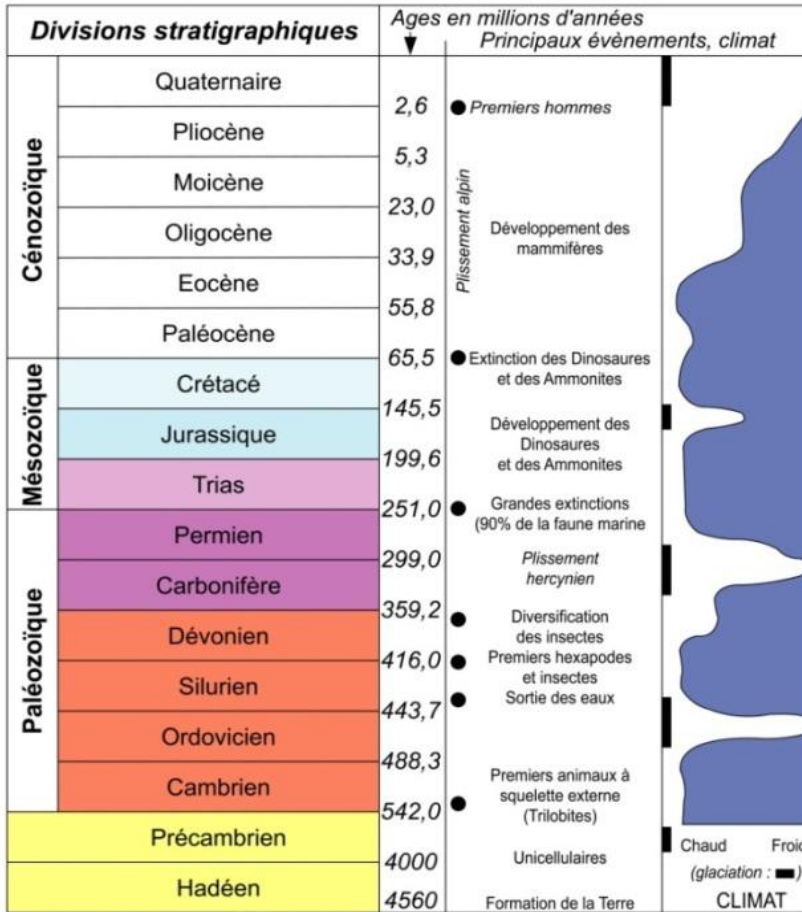


Figure 1. Les étages géologiques, leurs âges, les principaux événements survenus et les variations climatiques (colonne droite), d'après Garrouste 2012.

Deux localités distinctes ont permis d'obtenir des résultats quasi identiques: la première est la localité dite Epica (initiales pour European Project for Ice Coring in Antarctica) où les forages européens ont débuté en 2003 sur le dôme Concordia en Antarctique orientale, sous influence atlantique. La seconde station est celle de Vostok, station de recherches géophysiques russe, pas très éloignée de celle d'Epica. A Concordia, l'épaisseur de glace est plus importante qu'à Vostok où la couche a 4 km d'épaisseur; les forages débutés en 1998 ayant atteint 3623 m. Sous Vostok, il y a un immense lac de plus de 213 km de long alors que sous Concordia se trouve un socle granitique. Les forages ont permis d'obtenir des glaces ayant jusqu'à 500 000 ans à Concordia et 420 000 à Vostok, et ces échantillons fournissent aussi des renseignements sur l'atmosphère de l'époque, ce qui présente un grand intérêt sur lequel je vais revenir un peu plus tard.

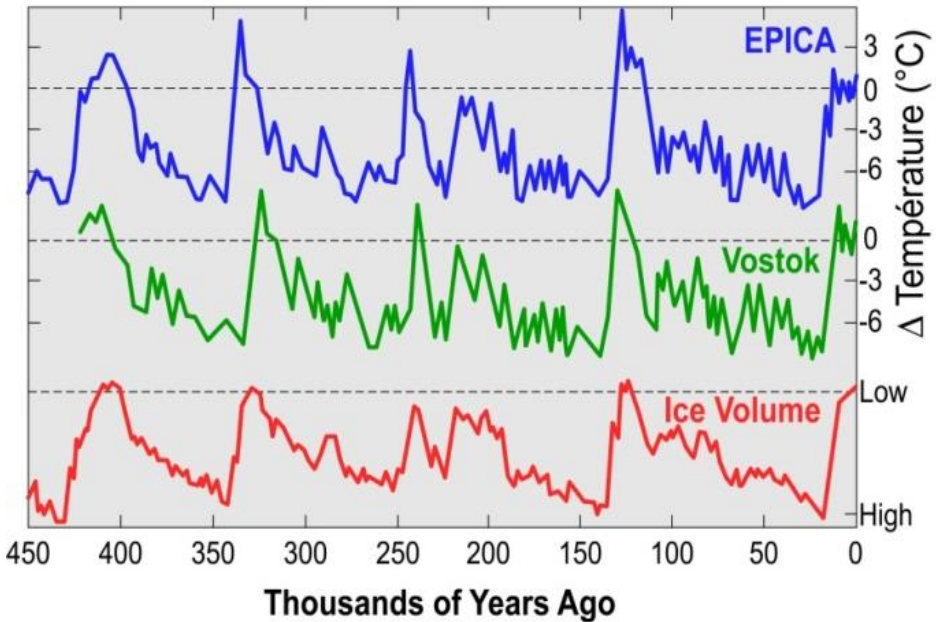


Figure 2. Variations des températures et du volume des glaces à Epica et Vostok pendant les 450 000 dernières années. Source : Met Office.

La notion de durée des phénomènes naturels constitue une donnée fondamentale en écologie. En effet, nous avons tendance à raisonner en fonction de notre durée de vie alors que, pour la nature, il est indispensable de considérer des périodes beaucoup plus longues. Sauf cas exceptionnels (les espèces dites "invasives" notamment), les modifications de la flore et de la faune ne s'effectuent jamais sur quelques décennies mais sur des centaines voire des milliers d'années ou davantage. Lors des périodes glaciaires du quaternaire, le niveau des océans a baissé d'environ 120 mètres permettant à des espèces animales mobiles par exemple de traverser la Manche à pied sec ou permettant à d'autres espèces de coloniser des milieux où elles peuvent encore subsister aujourd'hui, constituant ce que l'on appelle des "reliques glaciaires". Pratiquement, tout ce que nous connaissons actuellement sous le nom de plateau continental et qui est désormais sous les océans se trouvait alors à sec. C'est aussi ce qui explique que l'on trouve des dessins préhistoriques par exemple dans une grotte (la grotte Cosquer, dans les Calanques proches de Marseille) dont l'entrée, aujourd'hui, se trouve à 37 mètres sous le niveau de la Méditerranée. C'est aussi lors de la glaciation de Würm qui ne remonte qu'à 11 000 ans environ et que nos ancêtres ont connu que certaines espèces nordiques se sont implantées en Afrique du Nord, notamment au Maroc où on peut encore les trouver aujourd'hui dans le Rif ou le Moyen Atlas (le pin sylvestre, le cèdre atlantique ou le crapaud commun, *Bufo bufo*).

Toutefois, si les observations faites sur de longues durées sont importantes, celles effectuées sur des périodes plus brèves et plus proches du présent ont aussi une valeur incontestable qu'il ne faut pas négliger. (Fig. 3).

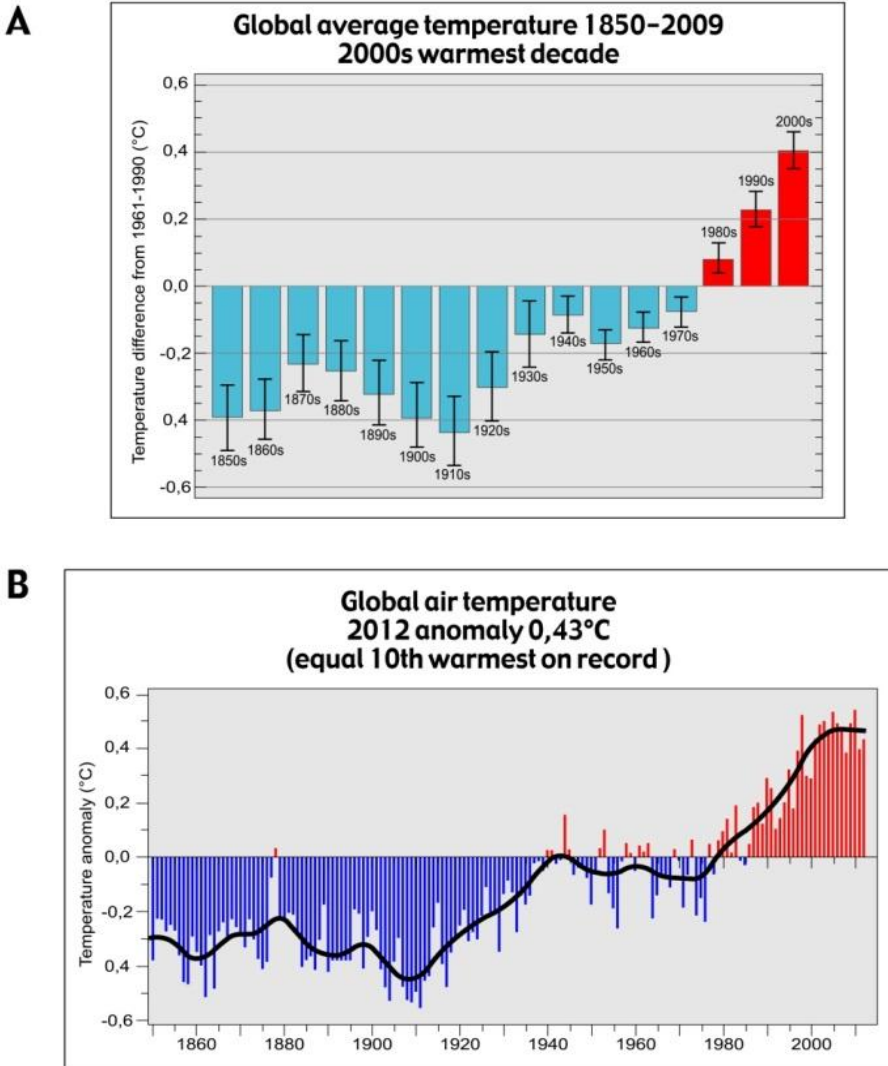


Figure 3. A. L'évolution décennale des températures sur les 150 dernières années permettent de montrer, sans tricher, la progression du réchauffement climatique pendant les 3 dernières décades. B. Les mêmes données mais présentées annuellement, ce qui met en évidence que le réchauffement climatique s'est arrêté depuis une dizaine d'années (Dapprès Staune, 2010). *Source Met Office*

Sur ces graphiques portant sur 150 ans, on constate que le réchauffement n'a débuté qu'en 1980, date à laquelle les températures passent au-dessus de la moyenne alors que pour les 130 années précédentes les températures décennales ou annuelles se situent en-dessous de la moyenne. On peut également se rendre compte sur le graphique indiquant les variations annuelles des températures moyennes mondiales (ce qui n'apparaît pas sur le graphique décennal...) que depuis l'année 2000 il n'y a plus d'élévation de la température moyenne et que nous sommes actuellement sur un palier, ce qui n'empêche pas les médias de continuer à nous parler très régulièrement du réchauffement climatique alors que les spécialistes de la climatologie parlent désormais d'un *changement* climatique. Ces mêmes médias qui ne manquent jamais une occasion de nous parler des effets du réchauffement climatique mais qui

"oublient" systématiquement de nous parler d'observations allant en sens inverse: à titre d'exemple, tout le monde a entendu dire que les coraux de la grande barrière de corail australienne étaient menacés par le réchauffement climatique mais qui a entendu dire que les coraux de l'archipel des Keys, au large de la Floride, en février 2010, étaient morts de froid par suite d'une vague de froid qui a provoqué des chutes de neige en Floride? (www.7SUR7.be, 2013). De la même manière, quelques médias ont mentionné le changement de parcours du Vendée Globe 2012 (trajet remonté vers le Nord de 10° de latitude, approximativement 1 111 km !) mais sans insister alors que c'est un phénomène climatique inattendu: à leur arrivée dans les mers australes les premiers marins de cette course ont constaté non seulement que les glaces ne fondaient pas dans les parages de l'Antarctique mais qu'il y avait en plus, phénomène rarissime à cette saison, de très nombreux icebergs dérivant vers le Nord. (Le Point, 2012).

Premier point donc: hommes ou pas, on observe des variations plus ou moins longues et plus ou moins importantes de la température à la surface de la terre depuis que celle-ci existe.

Ceci étant acquis, est-il possible d'établir une relation entre ces variations de la température et les teneurs en CO₂ de notre atmosphère? J'ai déjà mentionné qu'en un peu plus d'un siècle la teneur en gaz carbonique était passée de 290 ppm à 365 ppm, ce qui, pour le GIEC, expliquerait que de 1980 à 1998 la température moyenne se soit élevée de 0,44°C. Et c'est en corrélant la progression des températures sur tout le 21^{ième} siècle avec l'augmentation continue des teneurs en CO₂, qu'ils prévoient qu'en l'an 2100 l'élévation de la température sera comprise entre 3 et 6°C. Dans le pré rapport de septembre 2013, la fourchette a été revue à la baisse et est comprise entre 0,3 et 4,6 °C.

On peut tout de suite faire remarquer que si c'est l'homme qui est responsable de l'augmentation de la teneur en CO₂ par sa consommation d'énergies fossiles, cette ressource sera épuisée bien avant la fin du 21^{ième} siècle, les réserves connues étant estimées à une vingtaine d'années. Donc, les dégagements en gaz carbonique devraient plutôt diminuer. J'y reviendrai à propos de l'énergie.

L'écologue lui s'en réfère à nouveau aux données antérieures portant sur une période aussi longue que possible avant de considérer ce qui se passe sur les dernières décennies.

On sait qu'au cours des temps géologiques les concentrations en gaz carbonique ont souvent été très supérieures à celles que nous observons aujourd'hui. Ce ne sont bien évidemment que des estimations, donc à prendre avec précaution. Toutefois, les écarts avec les valeurs actuelles sont tels qu'il est tout de même intéressant d'indiquer ces valeurs. Ainsi au Paléozoïque, pour la période Dévonien-Carbonifère, la teneur en CO₂ atmosphérique était de 3500 ppm, ce qui explique la mise en réserve du carbone que nous utilisons de nos jours, tant sous forme de charbon que de pétrole. Plus tard, au Mésozoïque et plus particulièrement au Trias, la teneur en gaz carbonique était voisine de 1750 ppm. Et les immenses falaises de Douvres et d'Étretat, de part et d'autre de la Manche, résultent de dépôts marins de carbonates de calcium liés à l'abondance du CO₂.

Plus près de nous, nous avons des mesures considérées comme beaucoup plus précises grâce à l'air emprisonné dans les glaces, notamment de l'Antarctique. Les analyses faites sur les échantillons prélevés à Vostok mettent en évidence que depuis 420 000 ans les teneurs varient entre 180 et 300 ppm (Fig. 4) mais on peut encore observer que nous retrouvons les mêmes variations cycliques (cycle de 100 000 ans) que celles observées pour les températures. Il est toutefois très important de noter que sur cette durée de 420 000 ans les élévations de la température *ont toujours précédé d'environ 800 ans* l'augmentation de la concentration en gaz carbonique et non pas l'inverse. Ce qui va totalement à l'encontre de la théorie officielle qui dit que de nos jours c'est l'accroissement de la teneur en CO₂ qui est responsable de l'élévation de la température. Il est vraisemblable que l'explication soit la suivante: un principe de physique reconnu de tous dit que plus la température d'un liquide (ici l'eau de mer) augmente, moins il

contient de gaz dissous et inversement. La température des eaux océaniques s'élevant avec l'augmentation constatée de la température de l'air et les océans constituant un immense réservoir de gaz carbonique en solution (39 000 Giga Tonnes de Carbone -GTC- contre 750 GTC seulement dans l'atmosphère terrestre), leurs eaux libèrent une partie du CO_2 qui se retrouve dans l'atmosphère. Et depuis les années 1950 la station de référence mondiale qui mesure l'évolution de la teneur en gaz carbonique de l'air se situe à Mauna Loa, un petit îlot proche de Hawaï en plein océan Pacifique afin d'éviter la proximité d'activités humaines qui risqueraient de fausser les résultats...

Pour éviter une erreur, n'en crée-t-on pas une autre?

Partant de cette observation faite sur les 450 000 dernières années que les élévations de la température ont été régulièrement suivies 800 ans plus tard d'un accroissement de la teneur en CO_2 dans l'atmosphère terrestre, et ceci quatre fois de suite à 100 000 ans d'intervalle, *ne pourrait-on pas envisager l'hypothèse que l'élévation actuelle de la concentration en gaz carbonique dans l'air provient de l'élévation des températures observées au Moyen Age, il y a environ 800 ans?* En effet, il s'est pratiquement écoulé 100 000 ans entre le dernier "réchauffement" climatique et celui que nous avons observé au Moyen Age, à la suite duquel, 800 ans plus tard, c'est à dire de nos jours, nous observons une augmentation des teneurs en CO_2 ainsi qu'en méthane CH_4 .

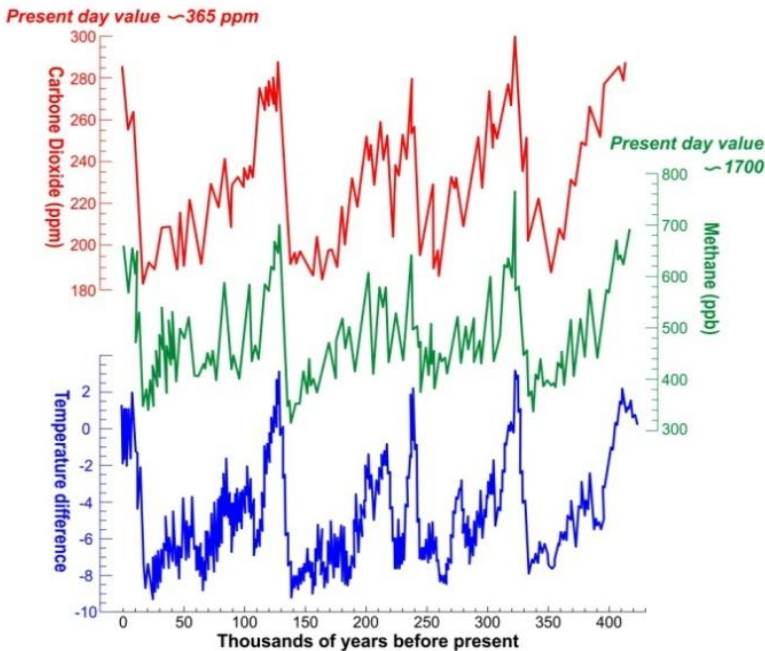


Figure 4 : Les variations des concentrations en gaz carbonique (en rouge) et en méthane (en vert) dans les glaces de Vostok sur les 420 000 dernières années. En Bleu, la courbe rappelant les variations de la température pour la même période (Source : Giraudon 2010).

Car ce graphique met aussi en évidence qu'il existe un parallélisme certain entre les teneurs de l'air en CO_2 et en méthane CH_4 (courbe verte au milieu), autre gaz à effet de serre d'une capacité thermique très supérieure à celle du CO_2 . Aucune explication n'est à ma connaissance

avancée pour expliquer cette similitude dans les variations de la concentration de ces deux gaz. (Afin d'éviter une erreur d'interprétation de cette figure 4, j'attire l'attention sur le fait qu'elle est,

par son auteur, inversée par rapport à la figure 2: sur celle-ci en effet, logiquement, la date la plus ancienne, 450 000 ans, se situe à l'origine des coordonnées alors que sur la figure 4, de façon surprenante, c'est l'époque actuelle qui se trouve à l'origine des coordonnées...).

Nous observons également sur ce graphique que nous sommes actuellement, depuis plus de 10 000 ans, en phase croissante de la concentration en CO₂. Toutefois, ces quantités de CO₂ indiquées pour les gaz contenus dans les carottes glaciaires doivent être considérées avec précaution comme le montre la figure 5 qui compare sur 150 ans les concentrations mesurées dans l'air à celles mesurées dans les glaces de Vostok. Il semble en effet évident que la courbe du bas, qui est celle utilisée par le GIEC, reste "plate" à Vostok alors que les teneurs mesurées dans l'atmosphère terrestre présentent au contraire de fortes élévations de concentration. Et ceci à trois reprises: la première en 1820, donc avant l'industrialisation, avec un pic à 440 ppm, concentration largement supérieure aux teneurs actuelles; la deuxième en 1855 avec une concentration voisine de 390 ppm et la troisième en 1945 avec à nouveau une concentration de 440 ppm qui retombe dès 1950 aux alentours de 320 ppm, valeur très proche de celles observées à la même date dans les gaz piégés dans les glaces de Vostok. Ces gaz piégés dans les glaces ne rendraient-ils pas compte des variations de concentrations de courtes durées?

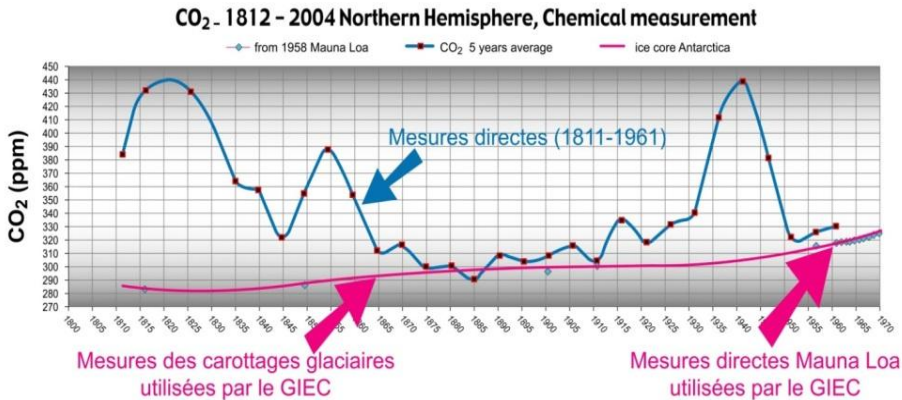
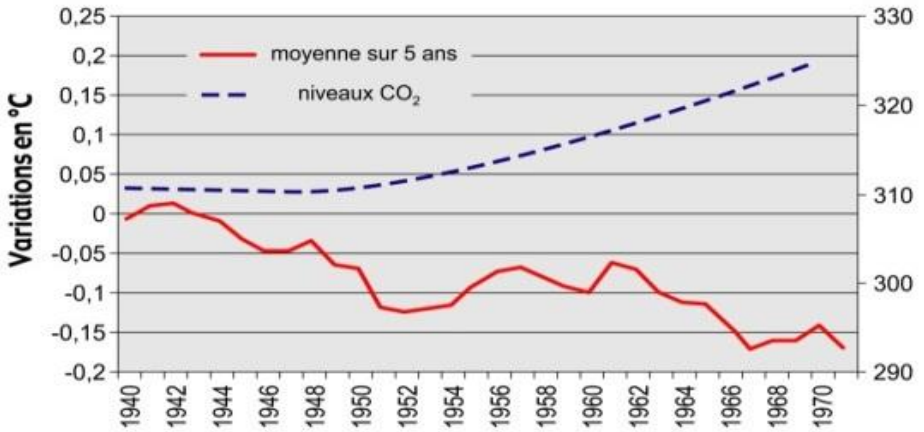


Figure 5 : Les variations des teneurs en gaz carbonique dans l'atmosphère de 1812 à 2004. En Bleu, les mesures directes dans l'air, en rouge, les teneurs observées dans les carottes de glace de Vostok (Source : Giraudon 2010).

Qu'observe-t-on maintenant comme relations entre les températures et les concentrations en gaz carbonique pour les dernières 150 années? La figure 3 ne donnant les températures qu'à partir de 1850 la forte teneur en CO₂ observée en 1820 ne peut pas être interprétée. Par contre, la concentration observée en 1855 permet de voir qu'il n'existe pas de corrélation entre teneur en CO₂ et élévation de la température. La forte baisse de la température moyenne en 1910 ne correspond en rien avec les variations des teneurs en gaz carbonique. Pour les périodes plus proches de nous, nous disposons de relevés beaucoup plus détaillés qui sont illustrés par la figure 6, en haut pour la période 1940- 1970, en bas pour la période 1998-2009.

A Température mondiale et CO₂, 1940-1970



B

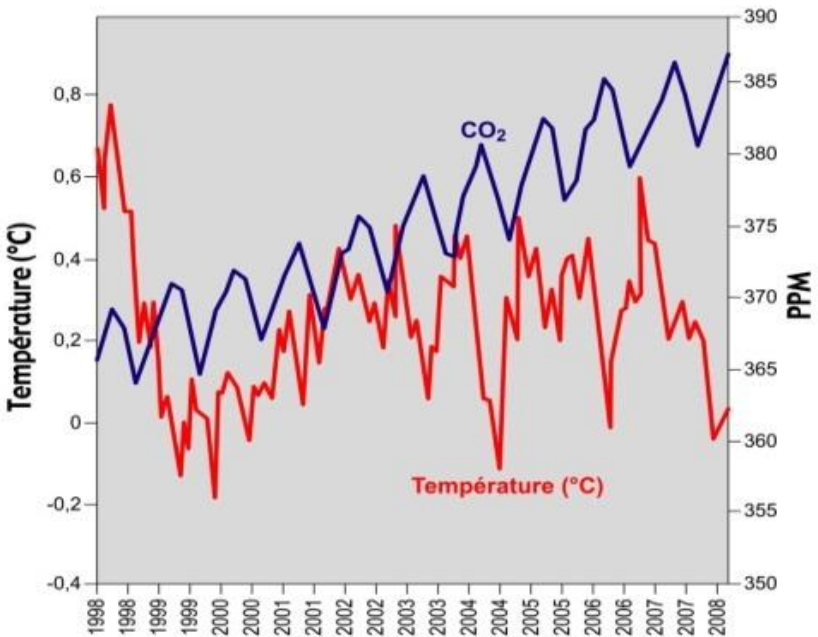


Figure 6 : En A. Evolution de la moyenne mondiale des températures (Traits pleins) et des teneurs en CO₂ pour la période 1940-1970 (d'après Crichton, 2006). En B. Le même constat pour la période 1998-2008 (d'après Allègre, 2010)

Pour la période 1940-1970, on constate que malgré l'augmentation de la teneur en CO₂ les températures moyennes mondiales diminuent. Et pour la période 1998-2009, on observe un résultat identique, d'ailleurs confirmé par une étude anglaise (Zhao & Buehler 2012) réalisée par une équipe de chercheurs fervents soutiens de la thèse du réchauffement climatique, étude citée par Allègre (2012) dans Le Point du 20-27 décembre 2012. Selon ces chercheurs, "la température du globe n'a pas augmenté depuis 1995, soit depuis 17 ans, alors que les teneurs en

CO₂ explosent" (figure 7). Il est donc possible, dès lors, d'affirmer que ce n'est pas le gaz carbonique, qu'il soit ou non d'origine humaine, qui est responsable des élévations de température observées de temps à autre à la surface de notre planète. Il semble, en outre, possible d'affirmer qu'il existe des mécanismes "naturels" de régulation de la concentration du CO₂ dans notre atmosphère, ces mécanismes se situant tant au niveau des océans que de la flore terrestre, le phytoplancton et le nanophytoplancton (tel que *Prochlorococcus* sp.) océaniques et les grandes forêts pluviales tropicales et équatoriales jouant un rôle primordial dans ces phénomènes de régulation des concentrations en gaz carbonique.

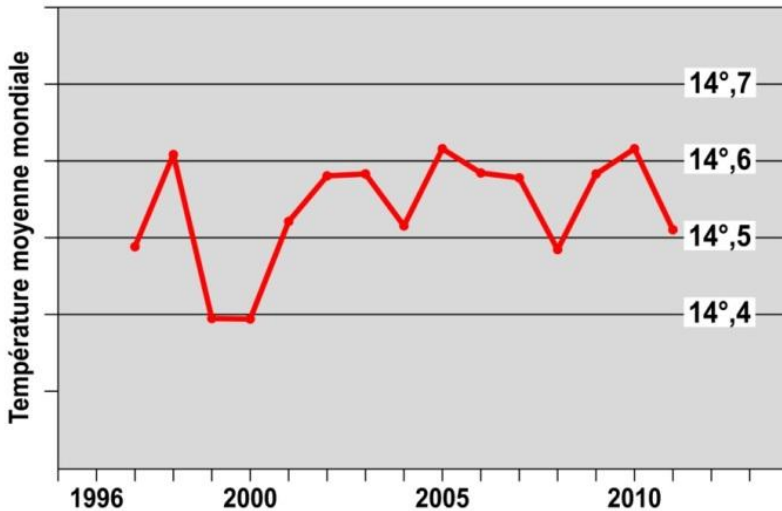


Figure 7 : Evolution de la température moyenne sur terre de 1996 à 2011 (Source. Centre Hadley du Met Office/ Climatic Research Unit de l'Université d'East Anglia).

Alors, où faut-il aller chercher une éventuelle explication aux variations constatées de la température terrestre? On peut, comme le fait notamment le glaciologue américain Akasofu, penser qu'il s'agit tout simplement d'une variation "naturelle" des températures, que nous sortons d'une période froide et qu'il est donc "normal" d'observer un réchauffement du climat. On peut aussi essayer d'incriminer d'autres gaz à effet de serre, notamment le méthane et la vapeur d'eau, ainsi que le font actuellement différents groupes de recherche du GIEC. On peut aussi chercher dans d'autres directions, l'une d'entre elles étant l'activité du soleil.

Le soleil est une véritable bombe H qui entre en éruptions plus ou moins violentes puis se calme à un rythme quasi régulier, constituant ce que l'on appelle le cycle de Schwabe, d'une durée de 11 ans. Le 23^{ième} cycle de Schwabe s'est terminé en octobre 2008 et nous serons en 2013 au maximum du 24^{ième} cycle. Nous approchons donc, actuellement, du maximum de l'intensité des éruptions solaires. Il faut encore préciser qu'à la fin de chaque cycle de Schwabe le soleil inverse sa polarité magnétique: il faut donc 2 cycles de Schwabe pour obtenir un cycle complet d'activité solaire incluant l'inversion de sa polarité magnétique. C'est ce que l'on nomme le cycle de Hale qui a une durée de 22 ans (à peu près la durée du réchauffement climatique constaté de 1978 à 2000).

La figure 8 met en évidence le cycle d'activité du soleil pour la période débutant en l'an 2000 et s'achevant en 2019: on remarquera aisément que la seconde moitié du 23^{ième} cycle de Schwabe montre un soleil très actif alors que la première moitié du 24^{ième} cycle montre à l'inverse un soleil peu actif, très en dessous des prévisions réalisées par les spécialistes. On

notera, en passant, que le soleil était beaucoup plus actif en 2000, 2001 et 2002 qu'en 2003 qui est pourtant l'année de la canicule, même si à l'été 2003 on note un fort regain d'activité solaire.

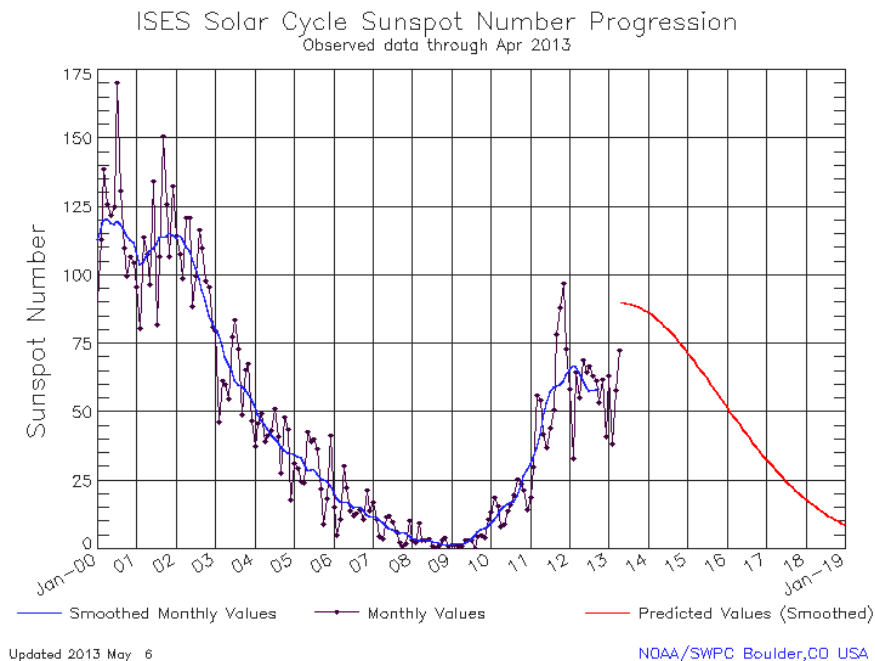


Figure 8 : Le cycle d'activité solaire jusqu'au 6 mai 2013 selon NOAA/SWPC.

La figure 9 présente un agrandissement de l'activité du soleil pour les années 2011 et 2012 dont tout un chacun peut encore garder en mémoire les caractéristiques climatiques.

En 2011, nous avons eu, en France, un printemps particulièrement chaud suivi par un été médiocre sur l'ensemble du territoire avant de connaître un magnifique automne anormalement chaud. On constate sur la figure 9 que le soleil fut relativement actif en mars-avril, paresseux en mai, juin, juillet, puis très actif en septembre, octobre et novembre. On retrouve pour 2012 un parallélisme comparable entre l'activité du soleil et les conditions climatiques françaises: la vague de froid de février coïncide avec un minimum de l'activité solaire suivi d'une forte hausse de cette activité en mars qui fut relativement chaud. Puis l'été et l'automne furent plutôt maussades et frais dans l'ensemble, ce qui va de pair avec une activité solaire réduite. Par contre, en France, nous avons eu en décembre 2012 des températures clémentes alors que l'activité solaire était fort réduite. Mais au Kazakhstan, dans toute la Russie et dans l'Europe de l'Est, ils ont connu des températures tellement basses (jusqu'à -59°C au Kazakhstan et 12° sous les normales saisonnières à Moscou) que certains journalistes n'ont pas hésité à parler d'un "refroidissement climatique". (Kalitev 2012) Comme quoi, les observations faites en France ne sont pas généralisables à l'ensemble de la planète: la meilleure preuve en est qu'en mars 2012 j'étais en Turquie et qu'alors qu'il régnait en France des conditions climatiques très agréables, il y avait au même moment des tempêtes de neige en Cappadoce accompagnées de températures sibériennes comprises entre -15 et -20°C , rendant impossible toute circulation routière. La neige tombait aussi, mais en moindre quantité, jusqu'au littoral de la mer Égée où soufflait un vent d'Est glacial. Il est probable que la France bénéficiait de la douceur Atlantique (Gulf Stream), ce qui n'était évidemment pas le cas de la Turquie. J'ajouterai encore à ce sujet qu'aux dires des Turcs l'hiver 2011-2012 a été le plus rigoureux qu'ait connu la Turquie depuis plus de 25 ans.

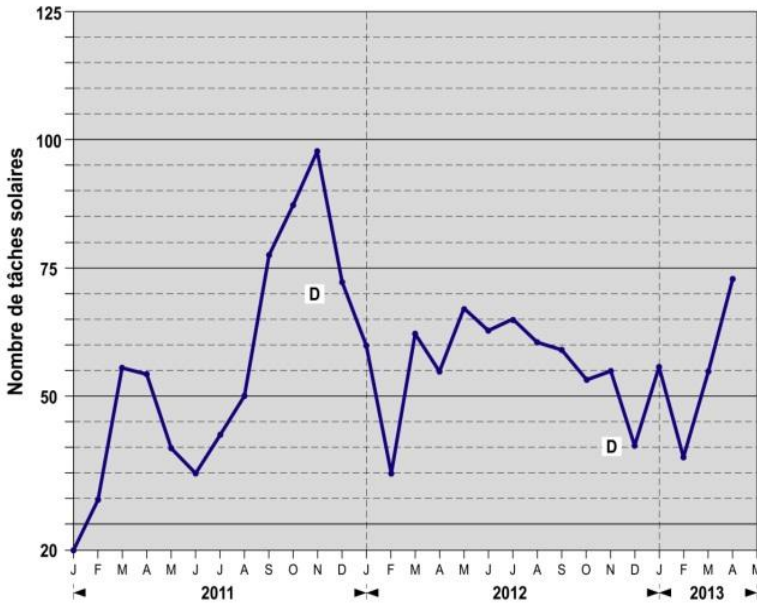


Figure 9 : Agrandissement de la fraction du cycle d'activité solaire comprise entre le 1^{er} janvier 2011 et le 06 mai 2013.

De toute façon, ce serait évidemment trop simple si la seule activité du soleil pouvait expliquer les variations observées de la température terrestre. C'est pourquoi, pour de nombreux spécialistes de l'influence du soleil (on parle des "solaristes") tels que le Danois Svensmark ou le Français Courtillot, il faut aussi prendre en considération les rayons cosmiques galactiques (GCR) qui proviennent de tout l'espace intersidéral et qui sont, entre autres, à l'origine des aurores boréales ou australes et des orages magnétiques capables de perturber les liaisons radio ou de provoquer d'immenses pannes d'électricité comme ce fut le cas au Canada il y a quelques années, privant plus de 6 millions d'habitants de lumière. Ces GCR sont constitués de particules ionisantes venues de l'espace et provenant de tout le système solaire.

Ces rayons cosmiques galactiques arrivent à la surface de la terre en quantités variables en fonction précisément de l'activité du soleil. Lorsque celui-ci présente son activité maximale, les rayons cosmiques sont déviés de leurs trajectoires et n'arrivent qu'en faible quantité à la surface de la terre. Inversement, pendant les périodes de faible activité solaire les GCR arrivent en abondance sur notre planète.

Ceci dit, quelles relations peut-on mettre en évidence entre ces GCR et les variations de la température à la surface de la terre? En arrivant dans l'atmosphère terrestre, les rayons cosmiques rencontrent de nombreuses particules, notamment d'abondantes molécules soufrées projetées en quantités considérables par les éruptions volcaniques. (La seule éruption du Pinatubo le 07/11/1991 aux Philippines a projeté dans l'espace jusqu'à plus de 20 km de hauteur plus de 20 millions de tonnes de dioxyde de soufre). Cette rencontre entre les GCR, les molécules soufrées et la vapeur d'eau (qui est aussi un gaz à effet de serre quelque peu négligé malgré son importance quantitative dans notre atmosphère) est à l'origine de la formation de nuages qui vont arrêter une partie des rayons solaires et apporter des pluies plus ou moins importantes. Donc, apporter une diminution de la température.

Tandis que les spécialistes du GIEC travaillent essentiellement avec des modèles de plus en plus complexes sur des ordinateurs de plus en plus performants, ajoutant sans cesse de

nouveaux paramètres, les solaristes essaient de prouver expérimentalement l'exactitude de leurs théories. C'est ainsi que sont nés les projets SKY puis CLOUD développés au CERN (Centre d'Étude et de Recherche Nucléaire, basé à Genève), projets impliquant 17 grandes institutions scientifiques originaires de 10 pays européens dont les premiers résultats connus sont encourageants et mettent bien en évidence d'étroites relations entre la couverture nuageuse basse et l'abondance des rayons cosmiques.

Il est temps maintenant d'essayer de résumer ce que nous avons appris jusqu'ici. Nous avons, d'un côté, l'effet de serre lié à la présence du CO₂ dont l'augmentation est attribuée aux activités humaines ainsi qu'à d'autres gaz à effet de serre, notamment le méthane et depuis peu la vapeur d'eau atmosphérique. Et nous avons, d'un autre côté, l'activité du soleil complétée de sa relation avec les rayons cosmiques galactiques. Mais, il existe d'autres facteurs que nous n'avons pas encore envisagés et qui pourraient se révéler prépondérants lorsqu'on envisage le réchauffement climatique dans sa globalité.

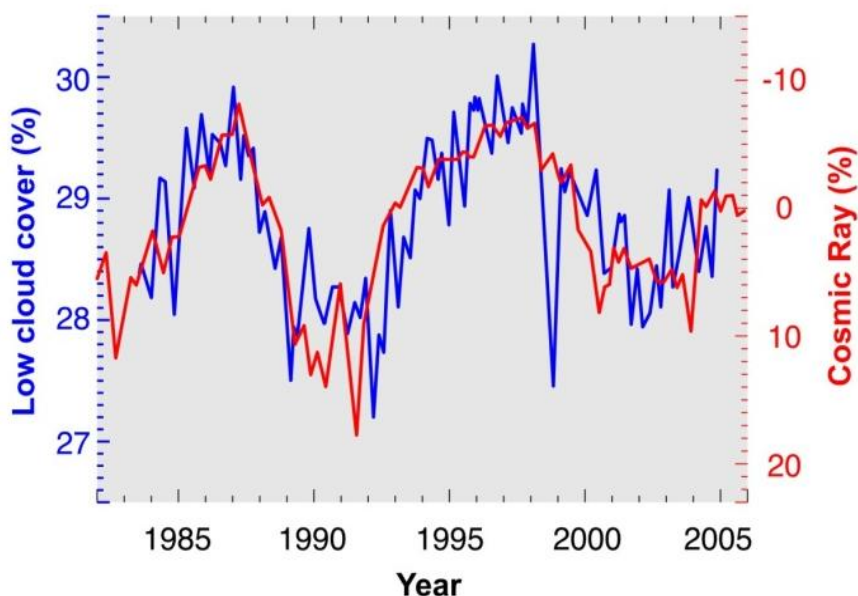


Figure 10 : Corrélation entre la couverture nuageuse basse (en bleu) en pourcentages et le pourcentage des rayons cosmiques galactiques (en rouge) pour la période 1983-2006. D'après Marsh & Svensmark 2006.

Le premier est le rôle, qui semble fondamental, joué par les océans qui représentent plus de 70% de la surface de notre planète. Les océanographes disent que "l'énergie reçue par les océans peut fort bien, et c'est même le plus souvent le cas, n'être libérée dans l'atmosphère qu'avec un décalage de plusieurs siècles". Ce qui pourrait expliquer le décalage de 800 ans observé entre élévation de la température et l'accroissement des teneurs en CO₂ atmosphérique. D'autres spécialistes (par exemple White *et al.* 1997) montrent que les températures de tous les océans varient en corrélation avec l'irradiance solaire, elle-même corrélée aux cycles de Schwabe. En 2009, Chylek affirme, et cela vient d'être confirmé par un groupe de chercheurs appartenant cependant au GIEC, que l'actuelle fonte des glaces de l'Arctique et du Groenland n'est pas liée au réchauffement climatique mais résulte d'un autre phénomène dénommé l'oscillation naturelle AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation), elle aussi en relation avec l'irradiance solaire, donc avec les cycles de Schwabe. Toujours à propos des océans, chacun a

entendu parler des relations étroites qui existent entre les phénomènes El Niño et la Nina de l'océan Pacifique et le climat dans différentes régions du globe. Ce n'est pas un phénomène régulier ni nouveau car il est connu des pêcheurs, péruviens notamment, depuis des siècles. Lorsque le Niño se manifeste, les eaux au large du Pérou, qui ont habituellement une température comprise entre 18 et 22°, se réchauffent en quelques mois pour atteindre des températures comprises entre 25 et 29° C. Il en résulte des perturbations climatiques majeures, sécheresse en Australie, en Inde, en Indonésie, souvent accompagnées d'immenses incendies de forêts, mais inondations ou fortes humidités en Amérique Centrale et du Sud ainsi qu'en Afrique. La Nina, refroidissement des mêmes eaux du Pacifique, provoque des effets inverses dans les mêmes régions du globe ainsi qu'aux Etats-Unis.

On connaît aussi l'importance du Gulf Stream, courant chaud, dans le climat des côtes orientales d'Amérique du Nord et des côtes occidentales européennes.

Le second facteur à prendre en considération, et qui vient encore compliquer l'ensemble, est que nous appartenons au système solaire qui est lui-même dans une galaxie, la Voie Lactée.

Je vous ai fait remarquer précédemment que nous observons des variations cycliques de 100 000 ans lorsque l'on étudiait les carottes de glace prélevées à Vostok comme à Concordia. Ces variations résultent du fait que la terre tourne autour du soleil selon une ellipse dont la forme subit des variations cycliques précisément de cette durée de 100 000 ans. En outre, la terre tourne sur elle-même selon un axe qui possède une certaine inclinaison par rapport à l'ellipse de la rotation autour du soleil. On a mis en évidence que cet axe connaissait d'une part des variations cycliques d'une durée de 40 000 ans mais qu'il pouvait y avoir, en plus, des variations accidentelles de l'inclinaison de cet axe liées à l'impact de météorites ou à l'action d'importants tremblements de terre, variations cycliques ou accidentelles pouvant être à l'origine de modifications climatiques sur notre planète.

Outre ces cycles liés à notre appartenance au système solaire, il nous faut considérer également notre appartenance à la galaxie.

Pour cela, nous changeons totalement d'échelle: la Voie Lactée a la forme d'un disque aplati avec un noyau central appelé bulbe d'où partent 4 bras principaux et spiralés constitués d'une très forte densité d'étoiles (figure 11). Le diamètre de notre galaxie est d'environ 100 000 années-lumière et notre système solaire est relativement éloigné du bulbe de la galaxie, environ 26 000 années-lumière. (Une année lumière est égale à 9 460,53 milliards de km.) et tout ce système galactique est en continue rotation autour du bulbe central. Pour notre système solaire, le temps mis pour effectuer un tour complet varie selon les auteurs entre 150 et 226 millions d'années, cette dernière valeur étant celle le plus souvent retenue par les spécialistes. Sur cette base de 226 millions d'années, il y aurait donc eu entre 20 et 21 rotations complètes du système solaire depuis son apparition il y a 4,5 milliards d'années. Et au cours de ces révolutions, le système solaire traverse les 4 bras majeurs de la galaxie ainsi que les bras secondaires: certains spécialistes ont calculé que les grandes glaciations connues par la Terre correspondraient aux moments où le système solaire traversait les bras majeurs, ce qui confirmerait l'importance des phénomènes d'ionisation, plus forte lorsque la densité des étoiles est plus élevée, dans les changements climatiques que nous observons. Toutefois, si mes calculs sont exacts, depuis que la Terre existe, nous avons effectué disons 20 rotations, donc nous avons franchi 80 bras majeurs de la galaxie mais nous n'avons répertorié que 5 périodes glaciaires intenses, ce qui voudrait dire soit que la traversée d'un bras majeur et une glaciation ne sont que des coïncidences, soit qu'il y a un autre facteur inconnu qui s'ajoute à cette traversée pour provoquer une glaciation. J'ajoute encore, pour vous rassurer, que nous sommes actuellement entre 2 bras majeurs et que la prochaine traversée de l'un de ces bras ne se fera que dans quelques millions d'années.

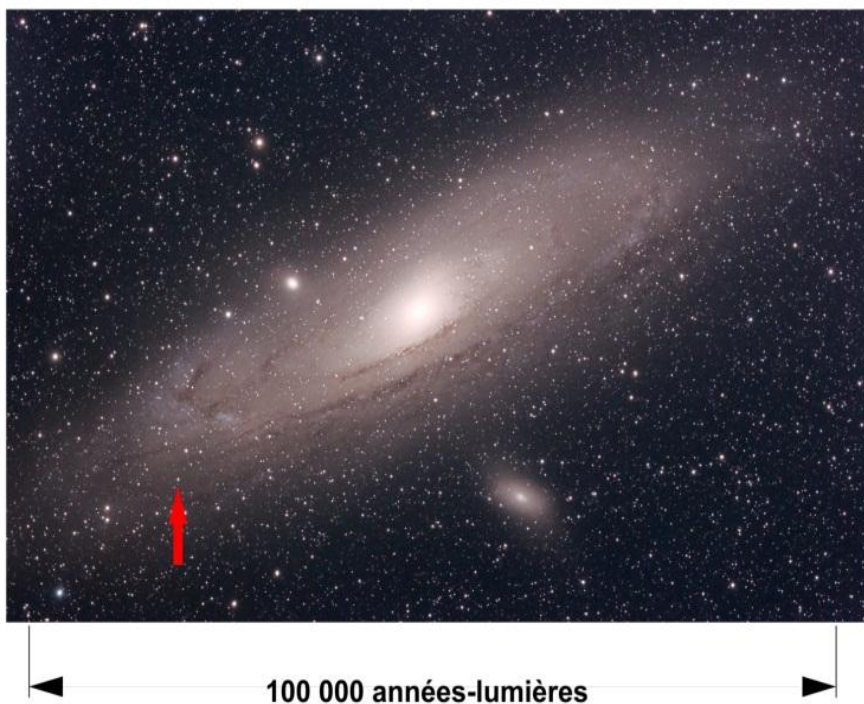


Figure 11 : La place du système solaire (Flèche rouge) dans notre galaxie (Source : www.druide-d-hier-et-de-demain.e-monsite.com/blog/genimalacta-solstice-d-hiver.html.)

Mais revenons un peu sur terre: il reste des perturbations que je n'ai guère évoquées jusqu'à présent, ce sont les phénomènes climatiques locaux et souvent brefs, de quelques jours à quelques semaines et qui échappent toujours à notre compréhension même si certains pensent qu'il convient de les relier au réchauffement climatique. Ce sont les canicules, les vagues de froid ou les violentes tempêtes. Pourtant, dès 1979, un chercheur français du CNRS, J.P. Legrand, solariste avant l'heure, affirmait dans une conférence faite lors d'un Congrès National des Œnologues qu'une relation entre les fluctuations météorologiques exceptionnelles et les phases caractéristiques de l'activité solaire avait été mise en évidence. Cette relation présente un maximum très marqué l'année qui suit le minimum de l'activité solaire. "En France, cette observation est vérifiée pour les tempêtes de 1999 et de 2010 mais ne l'est pas en particulier pour la canicule de 2003. Aux Etats-Unis, cette relation n'est jamais vérifiée au cours des dernières décennies. Nous restons, donc, encore dans l'incertitude la plus totale pour ces événements exceptionnels qui existent depuis fort longtemps. Il suffit pour s'en rendre compte de lire l'ouvrage publié par Dubrion en 2008 et qui recense pour la seule France tous les accidents climatiques, canicules, vagues de froid, tempêtes et inondations survenus depuis le 17^{ième} siècle, bien avant qu'on ne parle de réchauffement climatique. Mais, il est possible de remonter beaucoup plus loin en arrière car il existe des textes datant du Moyen Age qui traitent des inondations, sécheresses, froids et autres dérèglements climatiques. Citons simplement les chroniques de Jacques du Clercq au 15^{ième} siècle ou le journal d'un bourgeois de Paris écrit entre 1405 et 1449. Et pour certaines régions de France on peut trouver des références encore plus anciennes: ainsi pour le Queyras trouve-t-on des citations d'inondations catastrophiques en 1332 ou la crue du Guil qui en 1370 emporta 17 ponts de la vallée (Mathieu & Antoine 1984).

Ce qui bien sûr ne veut pas dire que ces phénomènes n'ont été observés qu'en France ! En nous limitant à l'époque actuelle, citons la Mongolie Intérieure qui en novembre 2010 a connu

la pire tempête de neige recensée depuis plus de 30 ans ou la vague de froid en Bolivie en juillet 2010 (-3° C au lieu de +20 à +25 °) provoquant la mort de millions de poissons ainsi que celle de lézards, de tortues et même de rongeurs tout en paralysant toutes les activités humaines pendant plus de deux semaines.

Compte tenu des gigantesques lacunes dans nos connaissances du climat et de ses variations, il me semble pour le moins bien prétentieux de vouloir prévoir le climat que nous aurons à la fin du 21^{ème} siècle alors que les prévisions à 8 jours ne sont déjà pas fiables. Ce qui n'empêche pourtant pas des revues réputées sérieuses, par exemple Géo, de publier dans son numéro 379 de mars 2012 un article dans sa rubrique environnement intitulé: "Pourra-t-on encore skier en 2025?" et d'ajouter que "20% des stations pourraient avoir disparu en 2050". On oublie de nous préciser que pendant les années 1940 à 1970, les Alpes ont connu un enneigement exceptionnel et qu'il est donc "normal" que cet enneigement se réduise par la suite. Ce qui ne signifie nullement qu'il n'y aura pas d'ici 2025, à nouveau, des enneigements exceptionnels...

En fait, il me semble que notre choix est assez réduit quant à nos prévisions à long terme. On peut suivre l'hypothèse d'Akasofu (2009) (Fig. 12) ou suivre celle du GIEC ou en inventer d'autres, mais nous ignorons totalement laquelle de ces hypothèses a le plus de chance d'être la bonne. Pour Akasofu (2009), les variations que nous observons actuellement sont tout à fait normales, avec tantôt des variations positives, tantôt des variations négatives par rapport à une élévation lente et progressive des températures moyennes mondiales liées au fait que nous sommes en train de sortir (probablement) d'une période de 35 millions d'années froides. Mais il existe d'autres glaciologues qui, eux, envisagent très sérieusement l'arrivée d'une cinquième période glaciaire pour faire suite à la glaciation du Würm...

Toutes ces incertitudes à propos de l'évolution du climat me semblent en tout cas être en contradiction avec de nombreuses décisions ou orientations voulues par politiques et les gouvernements français, souvent sous la pression du lobby des écologistes. L'un des plus actifs d'entre eux, Nicolas Hulot, après avoir "conseillé" les présidents Chirac puis Sarkozy, et obtenu du premier l'inscription dans la constitution du principe de précaution (très discutable car facteur de stérilisation de la recherche) et du second le Grenelle de l'environnement (manœuvre habile d'un ministre, J.L. Borloo !), vient d'être nommé, début décembre 2012, "envoyé spécial" de François Hollande pour la protection de la Planète. L'écologisme n'est hélas pas mort !!!

Ce qui pourtant ne veut pas dire que tout soit négatif : par exemple, avoir alerté le public sur le problème du dégagement de CO₂ par les voitures et les industries est une bonne chose, à condition de ne pas tomber dans un excès de sensibilisation qui risque d'être démenti dans l'avenir. Le jour où il sera prouvé que les dégagements de CO₂ liés à l'activité humaine n'ont qu'une importance dérisoire, voire pas d'influence du tout sur l'évolution du climat, il sera alors bien difficile de le convaincre d'avoir à poursuivre les efforts qu'on lui a précédemment demandés. En particulier les efforts financiers, comme le malus sur les voitures.

Par contre, il y a incontestablement des côtés négatifs à privilégier l'hypothèse du GIEC: on n'a de cesse dans les médias de paniquer les populations avec la montée du niveau des océans en nous présentant des scénarios catastrophes, la fonte des glaciers ainsi que des calottes glaciaires arctiques et antarctiques alors que des recherches récentes mettent, par exemple, en évidence que les glaces de l'Antarctique auraient plutôt tendance à s'épaissir et que des glaciers de l'Himalaya, dans la chaîne du Karakoram qui couvre environ 20 000 km², ont augmenté leur masse de glace entre 1999 et 2008 pendant que d'autres progressaient d'environ 10 cm par an (travaux de glaciologues français de Toulouse et Grenoble).

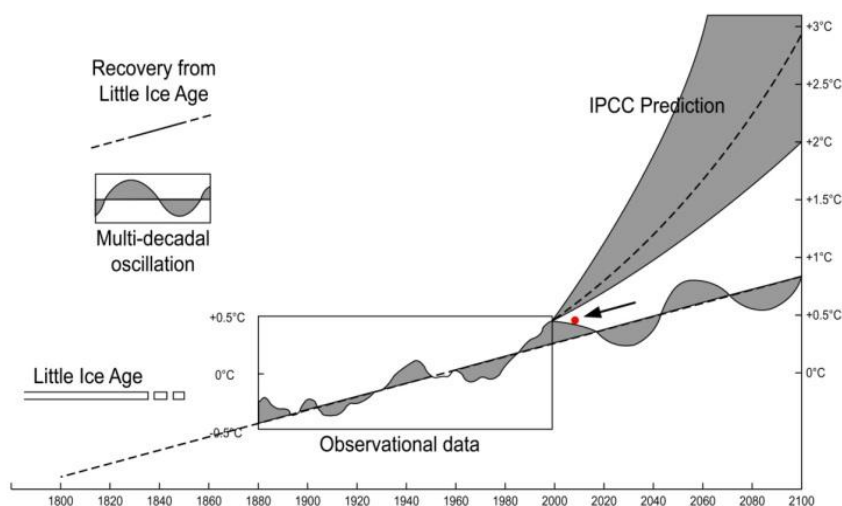


Figure 12 : L'hypothèse d'Akasofu face à celle du GIEC. La flèche indique le point où nous sommes actuellement. D'après Staune, 2010.

Précisons, cependant, que d'autres équipes de glaciologues, Suisses notamment, travaillant aussi sur des données obtenues à partir de satellites, mentionnent des résultats différents: la fonte des glaciers atteindrait environ 5% mais sur la période 1962-2005 (revue *Science*, avril 2012). Ces mêmes chercheurs précisent en outre que la superficie totale des glaciers himalayens (environ 40 800 km²) est inférieure de 20 % par rapport aux estimations précédentes mais que cette diminution n'est pas le résultat d'une fonte accélérée des glaciers mais provient d'une méthode de calcul différente.

Ce qui est plus grave à mon avis, c'est que presque tous les programmes de recherche à l'heure actuelle tournent autour d'un éventuel réchauffement climatique, en particulier en agronomie. Les objectifs fixés sont de sélectionner des espèces végétales et animales capables de résister à la chaleur, à la sécheresse, etc., facteurs dont on n'est pas du tout certain qu'ils évolueront dans le sens actuellement privilégié. Et pour effectuer cette sélection dans un laps de temps relativement court, la meilleure solution est évidente: il faut se tourner vers les OGM...

LES OGM, ORGANISMES GENETIQUEMENT MODIFIES

Les connaissances en génétique ont fait des progrès considérables au cours des dernières décennies, au point que l'on est désormais capable d'établir la carte du génome de nombreuses espèces, y compris celle de l'homme. Ce qui signifie que l'on connaît, en principe, les rôles joués par chacun des gènes. Nous sommes, donc, loin des sélections opérées jadis et basées sur des caractères visibles des végétaux ou des animaux que l'on gardait ensuite comme reproducteurs. On cherchait par tâtonnements successifs à favoriser les caractères jugés intéressants, recourant parfois à l'hybridation entre deux espèces voisines pour obtenir des nouveautés présentant des caractéristiques économiquement plus favorables: par exemple, la clémentinerésultat d'un croisement entre mandarinier et oranger (orange douce) et non pas, comme on l'a longtemps cru, d'un croisement entre mandarinier et bigaradier ce qui a été récemment démontré par des chercheurs de l'INRA. Comme la plupart des hybrides, il est auto stérile ce qui oblige à recourir au clonage pour sa multiplication.

Le génie génétique permet actuellement d'éviter de tels tâtonnements en incluant chez une espèce donnée un gène porteur d'un caractère intéressant, gène pris le plus souvent chez une

autre espèce mais accepté par le receveur. Dans le cas des saumons atlantiques transgéniques de la firme Aqua Bounty, ce sont même deux gènes qui sont implantés dans le génome, l'un provenant d'une autre espèce de saumon du Pacifique de plus grande taille, l'autre provenant des tacauds, poissons voisins des morues qui ont la particularité de poursuivre leur croissance même lorsque les eaux sont très froides. Il en résulte des saumons qui effectuent une croissance continue même en eaux froides et qui arrivent à une taille commercialisable deux fois plus rapidement que les saumons "témoins" (Fig. 13).



Figure 13 : Comparaison d'un saumon transgénique (AquaAdvantage®) à l'arrière plan, avec un saumon sauvage au même âge (crédit photo : AquaBounty Technologies).

Assez paradoxalement, la firme Aqua Bounty utilise des résultats de recherches conduites par des écologues sur la surexploitation des ressources halieutiques pour justifier la création des saumons transgéniques. Ces saumons transgéniques sont en cours d'habilitation aux Etats-Unis où leur caractère transgénique ne figurera pas sur les étiquettes...Ils seront les premiers animaux intégralement OGM à parvenir dans les assiettes des Américains. La qualité de leur chair n'est pourtant, certainement pas la même, sans parler de l'éventualité d'autres problèmes liés à la transgénèse. Toutefois, le consommateur, d'ici peu, risque de se trouver devant un choix difficile s'il veut manger du saumon: ou il devra prendre du saumon transgénique ou alors, faute d'en trouver du sauvage de plus en plus rare, il devra se contenter d'un saumon d'élevage, notamment norvégien, dont les "poux" parasites auront été éliminés dans les cages d'élevage par déversement d'un pesticide, le diflubenzuron, toxique et cancérigène, qui se répand dans l'eau des fjords avec les excréments des saumons...

Les points de vue "officiels"

Au pluriel, car ils diffèrent selon que nous sommes en France ou aux Etats-Unis. En France tout d'abord, les OGM sont globalement considérés comme néfastes et susceptibles de provoquer toutes sortes de problèmes de santé tant chez l'homme que chez les animaux domestiques. Il y a pourtant en France trois commissions qui sont censées effectuer l'expertise des avantages et inconvénients des OGM et de leurs utilisations. Ce sont: la Commission du Génie Génétique, instituée par décret du 11 mai 1989, la Commission du Génie Biomoléculaire, créée en 1986 par le Ministère de l'Agriculture mais instituée par décret du 23 février 1993, et le Comité de Biovigilance, créé en urgence en 1998 au moment des premières

autorisations de culture en France de maïs transgénique (février 1998). (Sans parler de deux "Agences", l'Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale et l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments qui devraient assurer un suivi et donner leurs avis avant la mise sur le marché des produits destinés à l'alimentation humaine ou animale.)

J'emprunte à un membre de l'une de ces commissions (J. P. Raffin) ses conclusions données en 2007 sur l'efficacité de ces Commissions et Agences: "Au vu des expériences passées, les pouvoirs publics, peu ou pas contrôlés par le Parlement, ont fait preuve d'une volonté manifeste:

-d'entretenir la plus grande opacité possible sur la question des OGM,

-de confier l'évaluation à des structures qui s'apparentent plus à des clubs fermés (dont bien des membres sont juges et parties) qu'à des instances pluridisciplinaires, transparentes, collégiales et indépendantes seules à même de lever la suspicion qui touche aux OGM".

Notons, toutefois, qu'à l'issue du Grenelle de l'Environnement (été et automne 2007) est envisagée la création d'une structure unique pour remplacer les 3 précédentes commissions. C'est la Haute Autorité des Biotechnologies, qui n'a en fait que capacité de conseil mais qui ne peut exercer aucune autorité, dont le décret de création a été publié le 8 décembre 2008 et qui a été mise en place en avril 2009. Cette haute autorité paraît, depuis, avoir agi avec pertinence et vigilance, même si ce n'est elle mais la Communauté Européenne qui a exigé que figurent sur les étiquettes des produits alimentaires la présence d'OGM dès que leur teneur est supérieure à 0,9 %. Mais, on ignore comment a été fixé ce seuil de 0,9% en dessous duquel l'inscription de la présence d'OGM sur les étiquettes n'est pas obligatoire.

Aux Etats-Unis, le problème ne semble pas se poser dans les mêmes termes, les OGM étant abondamment cultivés en pleins champs, dans l'ordre soja, maïs, coton et tabac. La Food and Drug Administration (FDA) délivre les autorisations nécessaires même si elle est critiquée par des associations de défense des consommateurs et de l'environnement.

De par le monde, on estime en 2009 qu'environ 134 millions ha sont cultivés en OGM, ce qui représente 8 % des terres cultivées. Les principaux pays concernés sont dans l'ordre, les Etats-Unis, l'Argentine, le Brésil, le Canada, puis très loin derrière, en Europe, l'Espagne.

Le point de vue d'un écologue

La diversité constatée des problèmes liés aux OGM incite l'écologue à donner des points de vue nuancés.

Schématiquement, on peut distinguer deux catégories principales d'OGM, ceux qui sont utilisés en milieux confinés pour la recherche fondamentale et les industries pharmaceutiques et ceux qui sont utilisés en milieux ouverts pour l'industrie agroalimentaire essentiellement.

Dans le premier cas, les OGM servent à produire des substances plus ou moins similaires à des substances "naturelles", substances servant à différents usages. Exemple: l'insuline.

Dans le second cas, c'est l'OGM lui-même qui est utilisé pour l'alimentation animale ou humaine. Exemple: le maïs.

Il n'y a que peu de chose à dire lorsque les OGM sont utilisés en milieux confinés, le risque le plus évident étant la possibilité d'accidents libérant ces OGM dans des milieux ouverts. L'application à l'homme de la thérapie-génie pour soigner des maladies génétiques en remplaçant un gène déficient par un gène "normal" me semble faire partie de cette 1^{ère} catégorie.

Il faut également faire mention dans cette première catégorie de l'utilisation de la thérapie-génie pour soigner une leucémie: dans ce cas, en effet, ce ne sont pas les gènes de la malade qui ont été modifiés mais c'est le virus du sida, le fameux VIH, qui a été génétiquement modifié avant d'être inoculé à la fillette malade de leucémie, avec des résultats spectaculaires. Alors que la malade était à l'agonie et que la chimiothérapie s'avérait totalement inefficace, elle a retrouvé

une vitalité extraordinaire à la suite de l'injection des virus du sida OGM et sans être devenue pour autant séropositive. D'où l'idée de traiter d'autres types de cancers de la même manière.

Toutefois, deux questions peuvent se poser à propos de ce type de traitement: la première, est-ce qu'en France, au nom du principe de précaution, on aurait tenté un tel remède si on y avait pensé? Ce traitement expérimental a été effectué aux Etats-Unis à Philadelphie.

La seconde: comment les choses vont-elles maintenant évoluer chez cette fillette de 7 ans? Est-elle définitivement guérie de sa leucémie ou seulement en rémission? On connaît l'aptitude des virus à effectuer des mutations: n'ya-t-il pas à craindre que le VIH retrouve toute son agressivité? On en revient évidemment au principe de précaution, même si les parents ont donné leur accord !

La seconde catégorie (utilisation en milieux ouverts) est totalement différente et les problèmes posés sont nombreux. Il convient, cependant, de préciser que ces variations faites par l'homme du patrimoine génétique d'un organisme existent aussi de façon totalement naturelle et que les généticiens l'appellent "le transfert horizontal de gènes". Le blé ou le tabac résultent d'un tel processus qui est considéré comme majeur dans l'évolution des êtres vivants. Mais une mention spéciale doit être faite précisément pour les virus qui sont, en outre, capable de modifier le patrimoine génétique d'autres espèces. "Dans les milieux naturels, les virus jouent de multiples rôles dans l'échange du matériel génétique chez les micro-organismes, dans le contrôle des populations hôtes qu'ils attaquent et dans les cycles bio-géochimiques du carbone et des autres éléments" (www.cen.ulaval.ca). C'est pourquoi certains pensent que le génie génétique ne fait qu'accélérer le processus de l'évolution.

Essayons pourtant de formuler clairement les observations que l'on peut faire sur l'utilisation des OGM en milieux ouverts.

Première observation : l'utilisation d'un transgène conférant à une plante cultivée une résistance aux herbicides peut ensuite se retrouver dans les "mauvaises herbes" que l'on n'arrivera plus à éradiquer par la suite.

Deuxième observation : les transgènes implantés ne conditionnent que très rarement un seul caractère si bien qu'il peut y avoir d'autres caractères non étudiés, susceptibles d'être défavorables, qui sont transmis à l'organisme modifié en même temps que le caractère jugé favorable. Et qui peuvent se retrouver dans les chaînes alimentaires, donc chez des organismes non ciblés.

Troisième observation : en milieux confinés, des chercheurs anglais et américains ont réussi à implanter chez des moustiques des gènes les rendant incapables de transmettre les maladies dont ils sont les vecteurs, le paludisme ou la dengue, ce qui constitue un grand progrès. Ces moustiques OGM n'ont pas encore été placés en milieux ouverts car on ignore totalement comment ces gènes vont évoluer dans les chaînes alimentaires: les poissons, les oiseaux ou d'autres insectes qui se nourrissent de ces moustiques risquent-ils d'en subir des dommages? Problème fondamental pour tous les écologues.

Quatrième observation : aux Etats-Unis, dans les cultures de maïs OGM, on observe actuellement que certains ravageurs de ces cultures qu'on pensait avoir éradiqué par l'utilisation d'un transgène spécifique reviennent plus nombreux qu'avant et paraissent avoir développé une résistance à la toxine protectrice élaborée par le transgène. C'est le cas d'un Coléoptère Chrysomélide qui s'attaquait aux racines d'un maïs OGM Monsanto. Et pire, les Chrysomérides résistants s'attaquent désormais aux sojas OGM, ce qu'ils ne faisaient pas auparavant. Comment va-t-on maintenant éliminer ces Coléoptères parasites de grandes cultures?

Cinquième observation : les motifs pour critiquer l'utilisation des OGM en milieux ouverts ne manquent pas, alors pourquoi semer la panique avec des soit-disant expériences qui ne résistent pas à l'examen? En septembre dernier, le professeur Seralini et son équipe de chercheurs français sèment la panique avec l'aide de tous les médias qui n'ont procédé à aucune

vérification, en affirmant que le maïs Monsanto NK 603, résistant au round up, était responsable de tumeurs chez les rats en expérience depuis deux ans. Quel journal écrit ou parlé n'a pas titré "Oui, les OGM sont des poisons" ou autres titres équivalents?

Et pourtant les incertitudes sont nombreuses dans ces expériences:

- l'étude a été faite avec des rats qui, dans des conditions normales d'alimentation, développent jusqu'à 45% de cancers (souche Sprague-Dawley).

- 200 individus en expérience, c'est très insuffisant pour pouvoir tirer des conclusions statistiquement fiables, il aurait fallu plus de 1000 rats.

- le maïs transgénique a été importé du Canada plusieurs années avant d'être utilisé: aucune analyse n'a été effectuée pour déterminer s'il y avait eu ou non des mycotoxines dans ces maïs provenant de champignons qui se seraient développés pendant la conservation des graines.

- les rats nourris avec le maïs transgénique avaient à boire de l'eau additionnée de round-up: est-ce le maïs ou le round-up ou les éventuelles mycotoxines qui sont responsables de l'augmentation observée du nombre de cancers?

- l'étude n'a porté que sur un seul transgène: il est donc nettement exagéré d'en conclure que tous les OGM sont des poisons, mais c'est pourtant ce que le public en aura retenu !

Sixième observation : lorsque l'on modifie le patrimoine génétique d'une espèce, que ce soit en introduisant de nouveaux gènes dans son patrimoine génétique ou par hybridation, on ne peut pas prévoir toutes les conséquences de cette manipulation génétique. Un bon exemple est donné par les sangliers (*Sus scrofa*): pour valoriser les chasses au gros gibier, les chasseurs français ont relâché depuis les années 1970 des dizaines de milliers d'animaux d'élevage, *croisés avec des porcs*, provoquant ainsi une véritable pollution génétique de l'espèce. Notons, tout d'abord, que ce croisement constitue une curieuse réussite dans la mesure où le porc possède 38 chromosomes tandis que le sanglier n'en a que 36. Observons, ensuite, que cet "hybride" est fécond et qu'il a même acquis les caractéristiques de la fécondité du porc: les modifications, pour l'essentiel, portent sur leur poids fortement augmenté, leur fécondité doublée, leur taux de croissance triplé et leur maturité sexuelle avancée. Le résultat est qu'on a, désormais, en France beaucoup plus de "cochongliers" que de sangliers, ce qui explique leurs incursions fréquentes dans les villes et même parfois jusque dans les magasins (Jouventin 2012). Les chasses qui pourtant prélèvent chaque année plus de 500 000 bêtes (522 000 pour la saison 2011-2012) ne suffisent plus pour limiter la prolifération de l'espèce (?) qui provoque un peu partout des dégâts estimés à plus de 50 millions d'euros chaque année. Néanmoins, certains médias, évoquant cette prolifération et les dégâts causés par les sangliers, ne disent rien de sa modification génétique ; par exemple, *Le Figaro Magazine* du 2 novembre 2012 publie une "enquête" intitulée "La Gaule, 2 millions de sangliers" (pages 72 à 75) dans laquelle, après s'être documenté auprès de spécialistes de la Fédération Nationale des Chasseurs (FNC) ainsi que de journalistes travaillant pour des journaux spécialisés (*Jours de Chasse* ou *Le Chasseur Français*), l'auteur de cette enquête, Cyril Hofstein, cite différents facteurs responsables de cette prolifération dont, bien évidemment, le réchauffement climatique ("Les conditions climatiques, plus douces depuis quelques années au printemps, ont également joué un rôle important..."), sans jamais parler ni des croisements porc/sanglier, ni des élevages ni des lâchers réalisés par dizaines de milliers par les chasseurs qui sont pourtant à l'origine du mal dont ils se plaignent après avoir voulu "*valoriser*" leurs chasses!

Septième observation: on critique beaucoup les OGM ainsi que les produits phytosanitaires utilisés pour améliorer les rendements agricoles. Il ne faut pourtant pas perdre de vue que nous sommes 7 milliards d'individus à nourrir et bientôt 9 milliards dit-on. N'est-il pas grand temps d'en prendre conscience, d'étudier rigoureusement et scientifiquement tous les problèmes inhérents aux OGM ainsi qu'aux produits phytosanitaires afin de nourrir convenablement toutes ces populations...si possible sans les tuer !!!

L'ENERGIE

Vaste sujet s'il en est, ayant de nombreuses conséquences dans des domaines aussi variés que la production ou la consommation d'électricité, l'extraction ou la consommation des énergies fossiles, notre vie quotidienne, notre environnement, nos loisirs, nos transports ou notre agriculture. Et cette liste n'est pas exhaustive ! Je vais, donc, tenter de faire le tour de cette question tout en sachant qu'il y aura presque obligatoirement des lacunes. On observera, toutefois, qu'il n'est pas possible de parler d'énergie sans retrouver des problèmes déjà abordés en traitant du réchauffement climatique ou des OGM, ce qui la rend d'autant plus intéressante et importante pour l'écologie.

Le point de vue "officiel"

Très schématiquement, on pourrait le résumer de la manière suivante: arrêtons l'énergie nucléaire et remplaçons-la par des énergies renouvelables. A ceci près qu'en France notre électricité est produite à plus de 77,7% par le nucléaire (chiffre officiel mais en France, sur une facture EDF en 2009, il est mentionné que l'électricité produite est à 82,1% d'origine nucléaire, 9,5 % d'origine "renouvelable" dont 7,1 % hydraulique, 3,5 % charbon, 3 % gaz, 1,6 % fioul et 0,3 % autres origines), ce qui pose évidemment la question de savoir où trouver l'équivalent énergétique. Les Allemands, sous la pression de leurs écologistes, qui sont aussi partiellement les nôtres (Cohn Bendit est élu au parlement européen tantôt comme Français tantôt comme Allemand) ont déjà décidé d'abandonner le nucléaire le plus rapidement possible et de le remplacer principalement par des centrales thermiques qui libéreront d'importantes quantités de CO₂ dans l'atmosphère, oubliant que, selon eux, c'est le gaz carbonique qui est le responsable du réchauffement climatique. A moins qu'ils n'achètent en France de l'électricité nucléaire? Du moment qu'elle est produite chez nous, ça ne les gêne sans doute pas...Mais en Allemagne, l'électricité d'origine nucléaire ne représente guère que 22 % de la production totale!

Bref, tous les gouvernements européens se trouvent les uns après les autres confrontés à la quasi impossibilité de remplacer l'énergie nucléaire par une autre énergie à un tarif acceptable et dans un délai raisonnable. Même la pression des écologistes n'y change rien, bien qu'ils fassent partie, désormais, de la majorité gouvernementale française.

Il en est de même pour l'utilisation des énergies fossiles utilisées, notamment, par les transports routiers: le point de vue officiel est d'y substituer l'électricité, ce qui pose de nouveaux problèmes particulièrement délicats à résoudre comme nous le verrons.

Dans ce domaine de l'énergie, quel que soit le problème abordé, on constate un immense hiatus entre les souhaits des officiels et les réalités du terrain.

Le point de vue d'un écologue

Commençons par le problème du nucléaire, énergie non renouvelable, qui vient toujours en premier dès que l'on parle d'énergie. Et débutons par un bref rappel de la composition du parc de centrales nucléaires en France.

Nous avons actuellement 58 réacteurs nucléaires en fonctionnement, tous du type REP, c'est à dire à eau pressurisée. S'ajoutent 12 réacteurs arrêtés dont 9 sont en cours de démantèlement: ces 12 réacteurs arrêtés n'appartenaient pas à la filière des REP mais 9 d'entre eux étaient des graphite-gaz, 1 était de la filière de première génération gaz-eau lourde, les deux derniers étant le Phénix et le super Phénix (expérimentaux) arrêtés respectivement en 2009 et 1997. Les 58 réacteurs en service sont répartis sur 19 sites (Fig. 14). Ajoutons à cela qu'un réacteur de type EPR, réacteur pressurisé européen dit de troisième génération, sensé être plus sûr que ceux de 2^{ième} génération, ce qui est contesté notamment par Greenpeace, est en construction à Flamanville dans la Manche où fonctionnent déjà depuis 1987 deux réacteurs à uranium naturel

enrichi. Un second projet d'EPR est prévu à Penly en Seine Maritime mais compte tenu du prix de revient de celui de Flamanville (actuellement plus de 8 milliards d'euros) il n'est pas certain qu'il voit le jour. Aux Etats-Unis, le réacteur AP 1000 de Westinghouse, dont les caractéristiques sont comparables à celles de l'EPR, a été autorisé le 22 décembre 2011 par la NRC (Nuclear Regulatory Commission) pour une durée de 15 ans.

Les 58 réacteurs en service fonctionnaient à l'uranium enrichi. Mais, depuis les années 1990, vingt d'entre eux ont été modifiés et utilisent partiellement comme combustible le MOX, terme créé pour signifier Mélanges d'Oxydes (en fait 7 à 8 % de dioxyde de plutonium et 92 ou 93 % de dioxyde d'uranium appauvri, l'un et l'autre provenant de l'utilisation de l'uranium enrichi, donc étant au départ des déchets du fonctionnement des réacteurs de la filière REP). Actuellement, aucun réacteur ne fonctionne en totalité au MOX fabriqué exclusivement à Marcoule dans le Gard: par contre, l'EPR de Flamanville est conçu pour pouvoir fonctionner en totalité avec le MOX comme combustible, ce qui réduirait d'environ 3 tonnes par an les déchets en plutonium.

Il existe un autre projet de réacteur qui devrait être construit à Marcoule, c'est le projet ASTRID (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration), prototype de réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium.

Les seules études de conception (650 millions d'euros) sont financées dans le cadre du grand emprunt de 2010 et en juin 2012 le CEA a conclu un partenariat avec Bouygues Construction pour les études de génie civil, en particulier les types de béton qui seront utilisés. Actuellement, la phase d'étude, qui a été retardée, se prolongera jusqu'en 2017, date à laquelle la construction effective d'ASTRID pourrait débuter pour une mise en exploitation prévue pour 2020.

En fait, tout se situe dans une certaine logique, celle du CEA et d'Areva: le combustible MOX est une première réponse aux déchets radioactifs créés par le fonctionnement des réacteurs à l'uranium enrichi. La deuxième réponse se situe dans la recherche de réacteurs appelés "surgénérateurs" susceptibles d'utiliser pour leur fonctionnement au moins une partie des déchets produits par les réacteurs de 2^{ième} et sans doute aussi de 3^{ième} génération, déchets plus fortement radioactifs que le combustible initial. Ces surgénérateurs constitueraient la 4^{ième} génération de réacteurs nucléaires. Toutefois, il semble bien que le projet ASTRID ne soit pas fondamentalement différent des réacteurs expérimentaux Rapsodie, Phénix et Super-Phénix qui ont déjà été abandonnés... Je reviendrai un peu plus loin sur le problème des déchets radioactifs qui est fondamental pour l'écologue. Tout ce qui précède ne concerne que les réacteurs nucléaires dont le fonctionnement est basé sur la **fission nucléaire**. Reste encore à évoquer le projet d'un réacteur nucléaire basé, quant à lui, sur le principe de la **fusion nucléaire**: c'est le projet ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) pour lequel le premier ministre, le 9 novembre 2012, a signé le décret "autorisant l'Organisation Internationale ITER à créer une installation nucléaire de base dénommée ITER sur la commune de Saint Paul Lez Durance", décret publié au Journal Officiel du 10 novembre 2012. "L'autorisation de création accordée à ITER Organization fera date pour deux raisons: ITER qui "brûlera" du Deutérium et du Tritium est la première installation de fusion au monde classée "installation nucléaire"; en France, c'est également la première INB (Installation Nucléaire de Base) dont le dossier de sûreté est examiné dans le cadre des exigences renforcées de la loi de 2008 sur la Transparence et la Sécurité Nucléaire (TSN)" (Arnoux 2012). Pourtant, à ma connaissance, les écologistes qui font partie de l'actuel gouvernement n'ont pas réagi à cette publication... qui va à l'encontre des accords passés avec le PS !

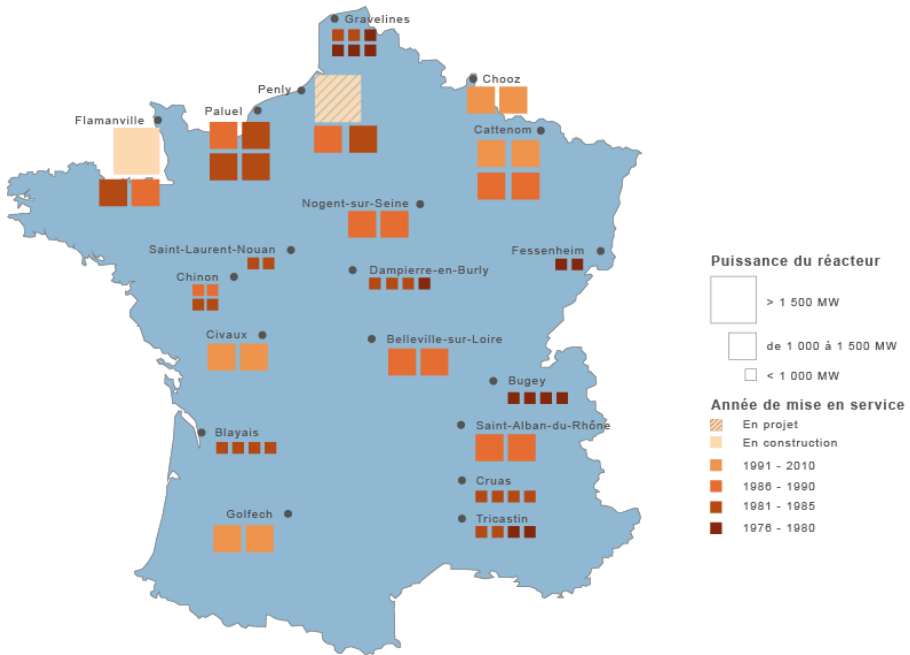


Figure 14. Localisation du parc nucléaire français (d'après observatoire électricité, 2011)

Les Russes sont à l'origine de ce projet qui regroupe actuellement l'Europe (en association avec le Canada), la Russie, le Japon, les Etats-Unis (sortis puis revenus dans le projet), la Chine et la Corée du Sud. Les Russes, dès les années 1980, travaillaient sur un réacteur à fusion nucléaire, le tokamak, qu'ils souhaitent perfectionner en bénéficiant d'une collaboration internationale.

Le site d'implantation du projet, Cadarache, n'est arrêté que le 28 juin 2005 même si les travaux d'infrastructure avaient débuté antérieurement. En 2007, un Japonais est nommé directeur général de l'organisation internationale ITER, en "compensation" de la localisation en France de ce réacteur, compensation qui prévoit, en outre, que 20% des contrats et 20% des effectifs permanents seront accordés aux Japonais. Les premiers essais devraient avoir lieu en 2020 (au mieux), le début des opérations nucléaires (deutérium-tritium) à l'horizon 2027, avec une durée d'utilisation d'une vingtaine d'années (400 heures de fonctionnement au total...). L'objectif est de générer 500 MW de chaleur, pas d'électricité car ITER n'est pas conçu pour produire de l'électricité, en n'en consommant que 50 pendant 400 secondes, ce qui fait dire aux opposants qu'ITER constitue une arnaque gigantesque dont le prix de revient est exorbitant, dans une fourchette (tellement large qu'on devrait plutôt parler d'une fourche !) comprise entre 3 et 20 milliards d'euros selon que les documents consultés émanent des favorables ou des opposants au projet.

En fait, selon ses concepteurs, ITER doit permettre la mise au point des technologies nécessaires à la fabrication d'un autre réacteur expérimental (DEMO pour Démonstration Power Plant) susceptible de produire 1 500 MW d'électricité en continu, lui-même suivi d'autres prototypes qui ne seraient pas fonctionnels avant les années 2040-2050.

Tous ces projets pharaoniques laissent rêveurs. J'emprunte à Arnaud Malikian, ingénieur en génie électrique, ce qu'il écrit le 9 décembre 2012 à propos de l'évolution du coût d'ITER:

"Comment expliquer que les autorités françaises et européennes acceptent de couvrir de tels dérapages alors même que la conjoncture économique met les finances publiques sous tension et qu'il n'est question, dans les discussions budgétaires, que d'austérité, voire de rigueur? L'explication tient peut-être à un biais cognitif bien similaire à celui des personnes accros aux jeux d'argent: plus un joueur perd d'argent au jeu, plus il est incité à continuer de miser de façon à justifier ses pertes antérieures...Autrement dit, on continuerait à jeter de l'argent dans le gouffre ITER pour ne pas avoir à admettre que jusqu'ici on l'a fait en pure perte...

Pour d'autres observateurs, cette spirale s'explique aussi par le goût prononcé des pouvoirs publics - et tout particulièrement des pouvoirs publics français - pour les grands projets. Régulièrement accusés d'impuissance dans la mondialisation, les politiques sont enclins à privilégier les programmes à forte visibilité dont ils peuvent se prévaloir auprès de l'opinion publique"(www.lecercle.lesechos.fr)

Mais, il y a d'autres aspects qui m'interpellent bien que je ne sois pas un spécialiste du nucléaire. Tout d'abord, pour faire démarrer ITER, il faudra lui fournir une énergie électrique de 500 MW pendant quelques secondes, ce qui revient à dire qu'il consommera plus d'électricité qu'il n'en produira, étant donné qu'il n'est pas conçu pour en produire. Ensuite, et c'est encore plus curieux lorsqu'on y réfléchit, il produira du Deutérium ^2H , un isotope naturel de l'hydrogène, ainsi que du Tritium ^3H , autre isotope mais radioactif celui-là de l'hydrogène, qui constitueront les intrants des futurs réacteurs à fusion nucléaire sensés produire l'électricité du futur. J'ai, donc, vérifié mes connaissances à propos de ces isotopes de l'hydrogène et constaté que le tritium existe à l'état naturel et qu'il provient "pour l'essentiel de l'action des rayonnements cosmiques sur l'azote, l'oxygène et l'argon de l'air." (Revoilà ces fameux GCR déjà rencontrés à propos du réchauffement climatique !) Mais, je découvre également que ce même tritium possède aussi une origine artificielle: il provient des explosions nucléaires effectuées dans l'atmosphère dans les années 1970, ce qui n'a que peu d'importance de nos jours puisque sa période est brève, 12,3 ans seulement. Par contre, il constitue aussi un produit de la fission nucléaire dans tous les réacteurs de type REP où il se trouve soit à l'état gazeux soit sous forme d'eau tritiée (document IRSN). Alors, n'est-il pas possible d'utiliser ce tritium sans avoir besoin de recourir aux services d'ITER? Ne serait-il pas plus logique et plus économique de jumeler les recherches sur la fusion à des réacteurs fonctionnant par fission nucléaire dont une partie des déchets de combustion serait ainsi utilisée sur place? Cette solution me semblerait constituer un troisième point dans la logique du CEA et d'Areva pour réduire les déchets nucléaires...

Non seulement les réacteurs de type REP produisent du tritium mais c'est aussi le cas de l'usine de retraitement du combustible nucléaire de La Hague qui rejette ses eaux tritiées en milieux marins...N'est-on pas en présence d'un véritable gâchis dans la mesure où nous avons déjà en France 58 réacteurs nucléaires plus une usine de retraitement des déchets qui produisent du tritium? En outre, et pour mémoire, il existe en particulier aux Etats-Unis des Z machines (nous avons eu, en France, l'équivalent avec le projet SYRINX...) qui, dans ses versions récentes les plus performantes, les Z-Refurbished machines, produisent des températures ioniques de 2 à 3 milliards de degrés "très largement supérieures aux températures requises pour la fusion des atomes d'hydrogène, deutérium ou tritium, et (qui) permettraient, en théorie sinon en pratique, la fusion d'atomes d'hydrogène avec des atomes plus lourds comme le lithium ou le bore; ces deux réactions présentent l'avantage d'être réellement propres, dans la mesure où elles ne produisent ni neutrons ni déchets radioactifs (fusion aneutronique), ce qui n'est pas le cas des réactions basées sur le deutérium et le tritium" (www.wikipedia.org).

Dans le même ordre d'idées mais basé sur la fission nucléaire (alors que la fusion demande encore des recherches théoriques fondamentales), existe le Rubbiatron basé sur l'utilisation du thorium, quatre fois plus abondant que l'uranium, et qui pourrait également utiliser le plutonium

produit par les réacteurs de type REP ou EPR. Les déchets produits par ce type de réacteur ont une période relativement brève de l'ordre de 500 ans (contre 24 110 ans pour le plutonium).

Ce que cet inventaire met en évidence, c'est avant tout qu'il existe un problème majeur dans la filière du nucléaire, celui des déchets radioactifs produits. Ils préoccupent autant les écologues que les écologistes, même s'ils n'ont pas la même manière d'aborder ce sujet.

Avant de développer cet aspect préoccupant du nucléaire, il me faut faire état de deux préalables qui me paraissent importants. Le premier, que je qualifierai de purement subjectif, est que j'appartiens à une génération qui a découvert l'existence du nucléaire en 1945 (j'avais alors 16 ans) lors de l'utilisation des bombes atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki, de quoi vous marquer l'esprit à vie sur les dangers et l'horreur du nucléaire. Le second préalable, tout à fait objectif celui-là, est que nous vivons dans un environnement naturel radioactif. Cette radioactivité naturelle provient de diverses origines:

- les rayons cosmiques galactiques (encore eux !), plus importants en altitude qu'au niveau de la mer.

- la nature des sols, un sol granitique libérant jusqu'à 20 fois plus de rayonnements qu'un sol sédimentaire parce que contenant de l'uranium (^{238}U et ^{235}U) en très faible quantité, de l'ordre de 10 ppm (parties par million). D'autres sols renferment du thorium (^{232}T) ou du potassium (^{40}K) qui leur confère aussi une radioactivité non négligeable, de 500 à 5 000 becquerels¹ par kilo de terre.

- la radioactivité des eaux douces et des eaux marines, variable en fonction des terrains traversés, de 10 à 15 Bq par litre. Certaines eaux minérales provenant de régions granitiques présentent une radioactivité de l'ordre de 10 Bq/L.

- la radioactivité de l'air liée à la présence de radon (^{222}Rn) issu de l'uranium 238 et arrivant dans l'atmosphère en quantité variable en fonction de la porosité des sols et de l'aération de l'habitat, le plâtre, la brique et le béton dégageant également du radon en quantités variables, entre 500 et 2 000 Bq.

- la radioactivité du corps humain, liée à l'ingestion d'aliments contenant des éléments radioactifs. Un homme de 70 kg possède une radioactivité de l'ordre de 8 400 Bq provenant pour un peu plus de la moitié de la fixation de potassium 40 et pour l'autre moitié de la fixation du carbone 14. On trouve également des traces de radon dans les voies respiratoires (www.dechets-radioactifs.com).

L'essentiel est donc de savoir quelles sont les rayonnements acceptables sans risque pour tous les organismes vivants à la surface de la terre. Et là, bien évidemment, le problème se complique un peu plus car, d'une part, tous les organismes n'ont pas la même sensibilité aux rayonnements et, d'autre part, tous les rayonnements émis ne sont pas identiques ; pour faire simple, on distingue trois sortes de rayonnements, alpha, bêta et gamma. Le rayonnement alpha correspond à l'émission d'un noyau d'atome d'hélium, capable de franchir quelques centimètres dans l'air et facilement arrêté. Le rayonnement bêta est un peu plus complexe mais sa portée dans l'air reste réduite à quelques mètres et il est facilement stoppé par une simple feuille d'aluminium. Le rayonnement gamma, enfin, est une onde électromagnétique de même nature que la lumière ou que les rayons X mais beaucoup plus chargé en énergie. Il peut parcourir plusieurs centaines de mètres dans l'air et n'est arrêté que par une forte épaisseur de plomb ou de béton (www.dechets-radioactifs.com).

1. Le becquerel est l'unité internationale de mesure de la radioactivité, symbole Bq, mesurant le nombre de transformations ou de désintégrations d'atomes par seconde, cette transformation s'accompagnant de rayonnements. Unité très faible dont on utilise le plus souvent les multiples, megabecquerels (MBq), millions de becquerels, gigabecquerels (GBq), milliards de becquerels, etc.

Pour tenir compte de cette complexité, les spécialistes utilisent une autre unité de mesure, le Sievert, symbole Sv, donnant une évaluation de l'impact des rayonnements sur les organismes.

Dans cette unité dont on utilise principalement des sous multiples, nous sommes exposés de façon naturelle, en moyenne, à 2,4 millisieverts par an qui se décomposent en :

- Exposition au radon: 1,4 mSv/an
- Rayonnements terrestres : 0,5 mSv/an
- Rayonnement cosmique : 0,3 mSv/an
- Alimentation: 0,2 mSv/an (Source IRSN)

A cette exposition naturelle, il convient d'ajouter les expositions artificielles telles que médicales (radiographies, scanners, etc.) soit 0,8 mSv/an ainsi que les expositions aux déchets d'origine nucléaire (centrales, retombées d'essais, Tchernobyl, etc.) soit 0,1 mSv/an. Ce qui nous donne un total d'exposition moyenne en France de 3,4 mSv/an/habitant. (Source: IRSN)

Quelles sont les doses qui provoquent chez l'homme des perturbations diverses?

- Atteinte de la thyroïde nécessitant prise d'iode 100 mSv
- Risque d'effet cancérogène 500 mSv
- Seuil des manifestations neurologiques 20 000 mSv (IRSN *In* www.linternaute.com).

Cependant, l'ANDRA (Agence Nationale de gestion des Déchets Radioactifs) créée par la loi du 30 décembre 1991, utilise le becquerel pour déterminer les différents seuils de radioactivité des déchets nucléaires.

Quels sont donc ces déchets? La façon la plus simple d'aborder ce sujet me semble être de suivre le fonctionnement d'une centrale nucléaire de type REP.

En fonctionnement "normal", les seuls rejets susceptibles de constituer des déchets sont de la vapeur d'eau rejetée par les tours de refroidissement ainsi que des rejets d'eaux "chaudes" dans les cours d'eau ou en milieu marin. La seule pollution observée au niveau de ces rejets est une pollution thermique, notamment dans les cours d'eau: lors d'études que j'ai eu l'occasion d'effectuer sur la Loire dans les années 1970, j'ai pu noter une élévation de la température des eaux du fleuve de 2 à 4°C entre l'amont et l'aval de la centrale de Saint Laurent des Eaux, ce qui, en été principalement, lorsque la Loire est en étiage, provoque des proliférations d'algues qui consomment tout l'oxygène de l'eau, pouvant causer une mortalité importante chez les poissons. La radioactivité des eaux du fleuve est identique entre l'amont et l'aval de la centrale.

Toujours en fonctionnement "normal", les premiers déchets radioactifs sont constitués par les gants, les surbottes, les outils, les filtres ou les résines ayant une période courte, inférieure à 30 ans, et une radioactivité "faible" inférieure à 100 000 Bq/g. Ils ne posent pas de problème majeur, étant facilement traités et décontaminés.

Par contre, les problèmes deviennent difficiles à résoudre lorsque les déchets sont constitués par le combustible usagé qu'il faut remplacer par un combustible neuf. Ils ont, en effet une durée de vie (période) très longue, de 24 110 ans pour le plutonium 239, 245 500 ans pour l'uranium 234 à 704 millions d'années pour l'uranium 235, avec, en outre, une forte radioactivité, par exemple 2,3 Gigabecquerels par gramme de plutonium 239. Ce qui explique, d'une part, que le CEA et Areva cherchent à réutiliser ces déchets et, d'autre part, que les craintes exprimées par les opposants au nucléaire soient justifiées. Ce n'est pas tant l'irradiation produite par ces déchets qui est à craindre, les rayons alpha, bêta ou gamma étant facilement arrêtés par l'utilisation d'écrans appropriés, que la contamination, la dissémination de ces matières radioactives dans les milieux naturels. On estime qu'en France, pour les 58 réacteurs en service, la consommation annuelle est de l'ordre de 1 200 tonnes de combustibles.

Dans un premier temps, ces déchets étaient placés dans des conteneurs en béton sensés rester étanches pendant 500 ans au minimum le temps pour ces déchets de perdre une part

importante de leur radioactivité. Ces conteneurs étaient ensuite déversés dans l'océan atlantique principalement mais on s'est rendu compte que 30 ans après les premières immersions nombre de conteneurs étaient déjà fissurés ou ouverts. D'où l'arrêt de ce procédé en 1982, après immersion de plus de 100 000 tonnes de déchets radioactifs. Contrairement à une idée répandue, ce n'est pas la France qui a le plus pratiqué cette technique mais la Grande Bretagne, responsable de plus de 75% des immersions de déchets en conteneurs. (Environ 1% pour la France). Actuellement, les déchets à haute activité et à vie longue (HALV selon la nomenclature utilisée en France) sont transformés en blocs de verre inaltérables et entreposés dans l'usine Areva de La Hague (certains documents citent aussi des entrepôts à Marcoule?) dans l'attente d'un stockage géologique qui devrait constituer, selon l'ANDRA, la solution définitive. Ces déchets HALV ont une radioactivité moyenne supérieure à 1 millions de becquerels par gramme et nous en stockons des tonnes, environ 2 000 m³ par an ce qui représente plusieurs millions de tonnes. Quand on sait que ces déchets peuvent être utilisés à des fins militaires il y a de quoi être inquiets !

Dans l'état actuel des choses, le prix de revient du stockage en site géologique profond reste prohibitif au point que certains ont suggéré d'évacuer ces déchets dans l'espace avec tous les risques que cela comporte... En résumé, tous ces déchets HALV s'accumulent dans l'attente d'une solution économiquement viable et, pourrait-on ajouter, écologiquement acceptable. Et, c'est bien connu, toutes les civilisations qui nous ont précédé ont disparu sous leurs déchets !

Toujours en fonctionnement "normal", les réacteurs ont une durée de vie limitée aux environs de 40 ans, même si l'on peut arriver à prolonger quelque peu leur existence. Il faudra alors les démanteler, ce qui représente encore des déchets, certains très volumineux mais peu radioactifs (maçonneries, ferrailles, etc.) d'autres peu volumineux mais très radioactifs, le cœur du réacteur lui-même. Il faut donc du temps avant d'aborder la démolition d'une centrale surtout que le combustible est relativement long à refroidir, 5 à 8 ans dans le cas de l'uranium enrichi mais plus de 50 ans pour le MOX. Ces déchets supplémentaires sont traités de la même façon que les précédents en fonction de la catégorie à laquelle ils appartiennent.

Reste maintenant à envisager les fonctionnements anormaux des centrales: je n'envisagerai ici que les deux catastrophes majeures de ces dernières décennies c'est à dire Tchernobyl (26 avril 1986) et Fukushima (11 mars 2011), bien que sachant fort bien que de temps à autre il y a des fuites de substances radioactives qui peuvent survenir (notamment de l'iode) mais qui n'ont toujours eu que des impacts mineurs et très localisés.

Les causes de ces deux accidents sont totalement différentes: à Tchernobyl, au cours d'une expérience d'amélioration de la sécurité d'un réacteur de type à uranium enrichi de la filière RBMK développée dans l'ancienne Union Soviétique et dans les Pays de l'Est, à la suite de plusieurs erreurs de jugement, un réacteur s'emballe et explose. A Fukushima, c'est un tsunami (avec une vague de plus de 15 mètres de hauteur, jusqu'à 28 m de haut à proximité de Fukushima) consécutif à un violent tremblement de terre (9,1 sur l'échelle de Richter) à une centaine de kilomètres des côtes japonaises qui provoque la détérioration de la centrale nucléaire équipée de 6 réacteurs de type REB (Réacteur à Eau Bouillante) sous licence General Electric. Deux erreurs fondamentales avaient été commises lors de la construction de cette Centrale: le mur de protection contre les tsunamis fréquents dans cette région et pouvant atteindre, fait connu de longue date, des hauteurs voisines de 30 m., ne mesurait que 5,7 m de hauteur et les moteurs diesel de secours chargés d'alimenter les pompes qui devaient assurer le refroidissement des réacteurs en cas de défaillance électrique étaient disposés au niveau du sol au lieu d'être surélevés. Ces moteurs ont donc été immédiatement noyés et totalement inopérants (Ramade 2011).

Les documents traitant des conséquences de ces deux catastrophes nucléaires étant très abondants, je n'y reviendrai pas: on trouvera en particulier une très bonne analyse dans la publication de Ramade (2011). C'est un écologue qui fut membre du Conseil Scientifique de

l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire devenu l'IRSN -Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire- à qui j'emprunterai une partie de sa conclusion. "La catastrophe de Fukushima a été d'une gravité exceptionnelle tant sur le plan technique - sûreté nucléaire et dommages subis par la centrale - que sur celui du nombre de personnes ayant souffert dans leur vie quotidienne (en particulier les 200 000 réfugiés de la zone d'évacuation de 30 km...). Parmi ces réfugiés, les autorités gouvernementales japonaises ont interdit, pour une durée indéterminée, à 26 000 d'entre eux, de retourner dans leur habitation, car située dans la zone d'exposition supérieure à 16 mSv/an (autour de Tchernobyl, 270 000 personnes ont été concernées pour les mêmes raisons). En dépit de cela, cette catastrophe nucléaire se classe fort heureusement, malgré la gravité de ses conséquences, très en deçà de l'accident de Tchernobyl, aussi bien au niveau de ses dimensions sanitaires qu'à celui de ses dimensions éco toxicologiques, quels que soient les propos tenus jusqu'à présent...

Il apparaît donc que des courants de pensée - à nos yeux dogmatiques et anti-scientifiques - ont un peu trop vite conclu que cet accident imposerait une "sortie du nucléaire". Celle-ci, outre qu'elle serait totalement irréaliste et même irréalisable dans le moyen terme, s'avérerait des plus désastreuses à la fois pour la protection de l'hygiène publique et pour celle des écosystèmes, contrairement à une opinion répandue dans certains milieux dits "écologiques".

C'est en effet bien là que se situe le problème: faut-il ou non sortir du nucléaire? En tant qu'écologue, je partage tout à fait l'avis exprimé par Ramade, cette sortie serait bien actuellement "totalement irréaliste voire irréalisable dans le moyen terme". Il faut également souligner les aspects positifs de l'énergie nucléaire: les centrales sont certainement en France les installations industrielles les mieux contrôlées, sans parler de tous les contrôles de la radioactivité qui sont effectués par l'IRSN. Cet organisme utilise, des prélèvements d'échantillons dans 600 stations réparties sur tout le territoire, ce qui donne lieu à plus de 27 000 analyses de radioactivité par an. Bon nombre de ces échantillons (67 %) sont prélevés à proximité des centrales nucléaires (réseau OPERA-Air), mais ces mesures sont complétées par deux réseaux de télésurveillance qui effectuent des analyses en continu : le réseau Téléray (165 balises en France métropolitaine) est dédié à l'analyse en continu du rayonnement gamma ambiant de l'air tandis que le réseau Hydrotéléray (7 stations) est dédié à la surveillance en continu des eaux des fleuves recevant des effluents de centrales nucléaires.(www.IRSN.fr).

Par ailleurs, on peut aussi comparer le bilan en décès humains provoqués respectivement par les centrales thermiques fonctionnant au charbon et les centrales nucléaires. Au niveau des centrales fonctionnant au charbon, combien compte-t-on de morts dans les mines pour extraire ce charbon? Certainement plusieurs milliers, voire des dizaines de milliers de par le monde. Et combien pour les centrales nucléaires? A ma connaissance, aucun pour extraire l'uranium et ceux qui furent irradiés l'ont été surtout lors des essais nucléaires militaires, fort peu (et pas de morts?) dans les installations nucléaires civiles. Sans oublier, pour ceux qui croient encore que le CO₂ est le responsable du changement climatique, que les centrales nucléaires ne dégagent aucun gaz carbonique contrairement aux centrales thermiques fonctionnant au charbon!

En outre, et pour l'écologue c'est une raison déterminante, toutes les recherches scientifiques qui ont été effectuées tant après l'accident de Tchernobyl qu'après des essais d'armes nucléaires aussi bien au Kazakhstan qu'à Eniwetok dans le Pacifique Central, donc dans des conditions environnementales très variées, n'ont pas permis de relever la moindre modification des écosystèmes aussi bien terrestres qu'océaniques. Jusqu'à présent, aucune disparition d'espèce vivante, même chez les coraux réputés fragiles, n'a pu être attribuée à la radioactivité dégagée par ces accidents ou essais nucléaires (Echaubard, 2011; Ramade, 2011). Le secteur irradié de Tchernobyl constitue à l'heure actuelle une véritable réserve de flore et de faune, y compris de grands mammifères, qui ne présentent aucune anomalie génétique ou autre. Victor Averine (<http://russie.aujourd'huiilemonde.com/25-ans-après-Tchernobyl-vit-encore>) écrit: "nous avons compris que la nature était en mesure de vaincre de telles catastrophes. La zone de radiation

n'est pas devenue déserte. Au contraire, les espèces animales s'y sont même diversifiées", en niant catégoriquement qu'il ait pu apparaître des mutants, des hommes à deux têtes ou autres légendes qui ont tant effrayé les Soviétiques (et les autres) il y a vingt cinq ans.

Laissons maintenant le nucléaire à son avenir et envisageons d'autres énergies fossiles, donc non renouvelables elles aussi, le pétrole, le gaz naturel, le gaz et l'huile de schiste, en oubliant volontairement le charbon déjà évoqué à propos des centrales thermiques et que nos voisins Allemands remettent au goût du jour sous la pression de leurs écologistes. Ceux-ci, pour abandonner le nucléaire, reviennent aux centrales thermiques au charbon alors qu'ils veulent lutter contre le réchauffement climatique qui, pour eux, provient pourtant du CO₂ dégagé en abondance par ce type de centrales... Cherchez l'erreur !!!

Depuis les années 1970, on nous annonce périodiquement que nos réserves mondiales en pétrole ainsi qu'en gaz naturel s'épuisent et que d'ici 20 à 30 ans nous aurons épuisé tous les stocks existants. Ce sera certainement vrai un jour, même si les prospections faites dans des régions océaniques de plus en plus profondes ont permis de découvrir de nouvelles ressources dont l'exploitation présente de nombreux risques écologiques. Il suffit de se souvenir de ce qui est arrivé le 20 avril 2010 dans le golfe du Mexique où la plate-forme pétrolière Deepwater Horizon a explosé avant de sombrer le 22 avril, provoquant une gigantesque marée noire par suite de la libération de 800 000 litres de pétrole par jour, couvrant une superficie de plus de 1 500 km² et atteignant les côtes des Etats-Unis, ruinant les activités des pêcheries et provoquant la disparition de nombreuses espèces végétales et animales. Il est bien évident que plus les nappes de pétrole se trouvent sous des profondeurs d'eau importantes, plus leur exploitation présente des risques.

C'est sans doute pour cette raison, entre autres, que de nombreux pays, dont la France, se sont mis à effectuer des prospections en milieux terrestres continentaux à la recherche d'huile ou de gaz de schiste qui pourraient soit leur donner une certaine indépendance énergétique soit prolonger d'un certain nombre d'années leurs consommations de produits pétroliers. Les Etats-Unis pensent que leurs réserves sont susceptibles de leur assurer un siècle d'indépendance énergétique alors qu'en France nous n'avons pas d'idée précise sur les quantités de gaz exploitables, même si le chiffre de 5 000 milliards de m³ a été parfois avancé. Il se peut fort bien que, comme en Pologne qui en a commencé l'exploitation, les réserves soient beaucoup moins importantes que prévu.

Tout d'abord, les puristes diront que cette appellation de "gaz de schiste" est erronée et qu'il vaut mieux parler de gaz ou d'huile de "rochemère". En effet, les schistes sont des argiles métamorphosées dans lesquelles toute la matière organique a été carbonisée et qui ne contiennent donc plus ni gaz ni huile. Dans une rochemère au contraire, la matière organique, sous forme de "cadavres" de plancton, de végétaux ou d'animaux, incluse dans des matières minérales, en arrivant en profondeur y rencontre des températures comprises entre 80 et 150°C qui la transforme en kérogène (rien à voir avec le kérosène !) puis en huile puis en gaz. Ce qui constitue le début du processus de formation au cours des temps géologiques du pétrole et du gaz, processus que nous interrompons bien avant qu'il ne parvienne à son stade ultime si nous l'exploitons dès à présent. Ces dépôts de matières organiques mêlées aux sédiments et ces températures comprises entre 80 et 150° se trouvent généralement entre 2 000 et 3 000 m de profondeur et c'est donc à ces profondeurs qu'il faut aller les chercher, les huiles étant moins en profondeur que les gaz.

Pour extraire ces huiles ou ces gaz il n'existe actuellement qu'une seule méthode, connue sous le nom de "fracturation hydraulique". D'autres méthodes font l'objet de recherches mais à ce jour aucune autre n'est opérationnelle. La fracturation hydraulique consiste à creuser sur 2 000 à 3 000 m de profondeur un puits vertical dans la roche mère, puis lorsque le niveau du gisement est atteint, à creuser sur 2 km environ un drain horizontal qu'il faut fracturer tous les 500 m par de petites explosions pour libérer le gaz ou l'huile. On envoie ensuite sous une très

forte pression, 600 bars, un mélange d'eau, de sable et d'additifs chimiques pour récupérer les produits pétroliers.

Il est bien évident qu'une telle méthode d'exploitation induit des inconvénients importants: risques sismiques tout d'abord, prouvés par l'observation en Grande Bretagne de petits séismes d'une magnitude de 2 à 2,5 sur l'échelle de Richter. Nécessité d'importantes quantités d'eau ensuite pour injecter dans les puits et les drains. Additifs chimiques susceptibles de provoquer des pollutions en surface lors du pompage de l'eau injectée. Possibilité aussi de retrouver dans cette eau différentes substances dangereuses en solution telles que plomb, zinc ou fluor ainsi que des substances radioactives comme l'uranium ou le radon. Libération également possible de méthane, gaz à effet de serre plus nocif que le CO₂. Occupation des sols enfin: une plate-forme d'extraction de gaz de schiste occupe une surface de 3,6 ha pour le forage d'une dizaine de puits. Au Texas, dans la formation dite de schiste Barnett, sur 13 000 km² les exploitants ont creusé environ 15 000 puits. Il faut, en effet, plus de 50 puits pour obtenir, dans un gisement de gaz de schiste, l'équivalent de la production d'un seul puits en gaz naturel. C'est sans doute pour toutes ces raisons que F. Hollande a très récemment (14 septembre 2012) annulé sept demandes de permis d'exploitation du gaz de schiste en France pour toute la durée de son mandat. Le précédent gouvernement, sans doute pour les mêmes raisons, avait déjà annulé trois demandes de permis d'exploitation de gaz de schiste. Ce qui est fortement critiqué par certains qui voient dans cette activité la possibilité de créer de nombreux emplois (le chiffre de 500 000 a été lancé par Allègre, ancien ministre français, en décembre 2012) et de satisfaire une partie importante de nos besoins en hydrocarbures. Il est pourtant bien évident que les situations en France et aux Etats-Unis ne sont pas comparables: géologie différente, vastes territoires totalement désertiques et inhabités aux Etats-Unis, ce qui n'existe pas en France où nous avons aussi le principe de précaution inscrit dans notre constitution, et existence en France de groupes de pression et de lobbies particulièrement actifs et efficaces. Et ce n'est pas le documentaire de Lech Kowalski intitulé "la malédiction du gaz de schiste" présenté sur la chaîne de télévision franco-allemande Arte le 29 janvier 2013 sur les conséquences environnementales des exploitations faites en Pologne et aux Etats-Unis qui va rassurer les populations !

Alors, où et comment se procurer les carburants dont nous n'arrivons pas à nous passer? La réponse paraît simple a priori: fabriquer des biocarburants. Deux filières distinctes existent désormais, celle des bioethanols et celle du biogazole ou bio diesel.

La plus utilisée est la filière bioethanol compatible avec les moteurs à essence. Ce carburant est obtenu à partir de saccharose provenant de betteraves ou de canne à sucre, d'amidon provenant du blé ou du maïs, de la cellulose ou de la lignine provenant de divers végétaux, ce qui est à l'origine de déforestations importantes. Par hydrolyse enzymatique, on obtient un alcool éthylique qui peut être mélangé à de l'essence dans des proportions qui varient entre 5 et 85 %, les mélanges contenant plus de 50 % de bioethanols nécessitant une adaptation des moteurs. On utilise les appellations E5, E10, E85, etc. pour indiquer le pourcentage d'alcool contenu dans l'essence. En France, l'E85 est vendu aux particuliers sous l'appellation de Superethanol depuis le 1^{er} janvier 2007. Au Brésil, le bioethanol provenant de la canne à sucre couvre 22 % des besoins nationaux en carburants et aux Etats-Unis environ 10 % de l'essence contient 10 % de bioethanol provenant du maïs.

Du fait que le bioethanol est produit en grande majorité à partir de plantes cultivées, on parle aussi "d'agrocaburants". Et c'est sur cet aspect agricole que l'on peut se poser des questions: Il est évident en effet que les productions agricoles qui sont utilisées pour fabriquer du biocarburant sont détournées de leur vocation d'origine qui est alimentaire, pour l'homme ou pour ses animaux domestiques. C'est pour cette raison que des recherches sont actuellement effectuées sur des algues pour produire un nouveau carburant, l'algocaburant. Ce sont des micro-algues dont des cyanophycées qui sont utilisées: comme leur culture exige de la chaleur ainsi que des eaux riches en CO₂ (plus de 13 %), ces cultures expérimentales sont couplées avec

des centrales thermiques au charbon qui leur procure à la fois chaleur et gaz carbonique. Une bonne façon peut-être de limiter la pollution de ces centrales tout en produisant un carburant qui, selon les auteurs, serait 10 à 100 fois plus efficace que celui obtenu à partir de l'agriculture classique. De plus, certaines recherches actuelles, en vue d'améliorer encore le rendement de cet algocarburant, utilisent des algues OGM, au risque qu'elles puissent se retrouver par la suite dans les milieux naturels proches des sites de cultures. Comme quoi, en écologie, tout se tient: nous voici, à propos de l'énergie, revenu aux OGM ainsi qu'au réchauffement climatique.

Quant au niveau depollution provoquée par les bioethanols, il est lui aussi variable selon les auteurs consultés: il semble toutefois acquis que leur utilisation dégagerait moins de gaz à effet de serre mais qu'en contrepartie il y aurait davantage de protoxyde d'azote dégagé ayant pour origine les engrais azotés utilisés pour accroître la production végétale.

Qu'en est-il maintenant de la filière biodiesel ou biogazole? Il est produit en France à partir de culture de colza, aux Etats-Unis de culture de soja en partie OGM bien évidemment, au Brésil et en Argentine à partir de colza OGM encore une fois. Ce type de biocarburant est produit à partir d'une huile végétale, parfois à partir d'une huile de friture recyclée, très rarement par recyclage de graisse animale. Le biogazole s'obtient par transestérification des lipides avec un alcool pour aboutir à un ester méthylique d'huile végétale.

Comme pour le bioethanol, le biodiesel est mélangé au fuel dans des proportions variables (B5, B15, B25, etc.) mais lorsque le mélange contient plus de 30 % de biogazole il est indispensable d'apporter des modifications aux moteurs diesel. Comme pour le bioethanol, certains moteurs utilisent le biogazole pur (E100 et B100).

En Europe, d'une façon générale, les cultures énergétiques destinées à la fabrication du biocarburant ne concurrencent pas les cultures alimentaires car elles sont réalisées, au moins en principe, sur les terres en jachère ou sur des terres bénéficiant d'une aide européenne spécifique aux cultures énergétiques. En outre, les tourteaux de ces cultures énergétiques sont aussi utilisés pour l'alimentation du bétail.

Il n'en reste pas moins vrai pour autant que le prix de revient de ces biocarburants reste plus élevé que celui de l'essence ou du diesel, ce qui est compensé par des incitations financières.

Alors, faut-il abandonner la voiture à essence ou diesel et en arriver à la voiture toute électrique? C'est sans doute l'option choisie par l'actuel gouvernement français qui, à titre d'incitation, propose de réduire les péages autoroutiers pour ce type de véhicule. On pourrait croire à de l'humour de leur part car ces voitures dans leur conception actuelle ne disposent que d'une autonomie d'environ 150 km, et comme il n'y a pas dans les stations services des autoroutes de prises permettant de les recharger (durée d'une recharge entre 5 et 6 heures...) on peut penser que les propriétaires de ces véhicules ne se lanceront pas de sitôt sur les autoroutes. De plus, un simple calcul pour un trajet de Paris à Nice, environ 900 km, en supposant qu'il y ait possibilité de recharge tous les 150 km, à raison de 6 h. pour chaque recharge, donne une durée de trajet de l'ordre de 45 heures: nous voilà presque revenu au temps des diligences !

Plus sérieusement, ce type de véhicule nécessite d'importantes batteries qui utilisent le plus souvent du lithium, métal le plus léger au monde, qui se trouve essentiellement dans les salars de Bolivie et du Chili. Le seul salar d'Uyuni en Bolivie (superficie de 12 500 km²), à 3658 m d'altitude, contient plus de 50 % des réserves mondiales avec 5,5 millions de tonnes de lithium, celui d'Atacama (2480 m d'altitude) au Chili venant en seconde position (Bolivie + Chili = 85 % des réserves mondiales) L'Argentine, l'Australie et la Chine sont les autres pays producteurs de lithium. Ce lithium est contenu dans la saumure sous l'épaisse couche de sel qui est exploitée de façon traditionnelle par les Boliviens et les Chiliens, couche de sel qui donne à ces régions un important attrait touristique et scientifique par sa faune notamment. On y observe par exemple trois espèces de flamants, le flamant des Andes (*Phoenicoparrus andinus*), le flamant du Chili

(*Phoenicopteruschilensis*), le flamant de James (*Phoenicoparrusjamesi*), ce dernier en hiver seulement, ainsi que de nombreux oiseaux limicoles, ce qui signifie qu'ils y trouvent de nombreux invertébrés dont ils se nourrissent et qu'ils ont à l'heure actuelle peu ou pas connus des scientifiques. Un reportage réalisé en avril 2009 (source: Dailymail.co.uk) montre les impacts environnementaux de l'exploitation du désert d'Atacama. "Dans les collines desséchées de la région nord du Chili, les dommages causés par l'extraction du lithium sur l'environnement sont immédiatement visibles: une des plus grandes zones d'exploitation du pays ressemble à un immense champ labouré, d'énormes montagnes de sel blanc brillant s'élèvent au dessus de la plaine, la terre brune craquelée du site s'effrite dans les mains, il n'y a aucun signe de vie animale, l'eau rare a été contaminée par des fuites chimiques provenant de la mine. Des canaux énormes et des pistes ont été implantés dans le désert, chacun charriant de l'eau gravement polluée". (www.ecoinfo.cnrs.fr)

On exploite le lithium par pompage de la saumure qu'il faut ensuite faire évaporer, opération longue, nécessitant plus d'une année, effectuée dans des "piscines" qui occupent de vastes superficies et défigurent le paysage (Fig. 15). Aux résidus solides obtenus, on ajoute des additifs pour éliminer le bore, puis de la soude pour obtenir du carbonate de lithium qui est ensuite filtré, lavé et séché pour obtenir un sel pur à 99,5 %. Autrement dit, ce sont d'immenses installations industrielles qui s'établissent sur ces hauts plateaux andins, apportant certes une nouvelle richesse économique, discutable lorsqu'on sait que la production et la vente de matières premières n'a jamais enrichi aucun pays, que l'enrichissement ne peut arriver qu'à la condition de manufacturer le carbonate de lithium pour vendre des produits finis, batteries pour automobiles ou pour appareils électroniques (téléphones et ordinateurs portables, appareils photos, etc.) notamment. Toutefois, en 5 ans, le prix du carbonate de lithium est passé de 260 à 2 300 € la tonne tout endéfigurant et polluant ces magnifiques déserts salés.

Il est, donc, tout à fait évident que le passage à la voiture électrique, s'il peut faire la fortune de la Bolivie et du Chili, s'accompagnera obligatoirement de dégradations écologiques très importantes. Et ce passage à la voiture électrique implique aussi que nous produisons suffisamment d'électricité, donc implique l'utilisation de l'énergie nucléaire tant qu'on n'aura pas trouvé d'autres moyens d'assurer une production compatible avec des besoins qui vont continuer de s'accroître.

Ce ne sont pas, en effet, les énergies dites renouvelables qui seront susceptibles de fournir toute l'électricité que nous utilisons en ce début du 21^{ème} siècle.

La plus ancienne est l'énergie hydroélectrique fournie par les barrages sur les cours d'eau à laquelle s'ajoutent plus récemment les usines marées motrices ainsi que l'exploitation des mouvements de la houle marine.

Sur terre, s'ajoutent désormais l'énergie solaire ainsi que les éoliennes dont certaines se situent aussi en mer. Quelles sont les réactions d'un écologue vis à vis de ces "nouvelles" énergies?

A première vue, il ne peut être que favorable mais l'examen détaillé le conduit à exprimer une opinion plus nuancée.

L'énergie hydroélectrique par exemple est produite par des barrages qui, dans certains cas, ont perturbé la vie animale dans les cours d'eau où ils ont été construits, notamment la remontée des saumons vers les frayères. Par contre, très souvent ces mêmes barrages ont permis à d'autres espèces de poissons, d'oiseaux ainsi que d'invertébrés de s'installer et d'y proliférer. En outre, les plans d'eau créés ont permis également à l'homme d'y développer de nombreuses activités de loisirs qui n'existaient pas auparavant. Il est donc très probable qu'au plan économique le bilan soit positif s'il n'est pas certain qu'il en soit de même pour le bilan écologique.



Figure 15. Vue partielle des piscines d'évaporation de la saumure au Salar d'Atacama au Chili pour l'exploitation du Lithium. Source Google maps *In* /www.ecoinfo.CNRS.fr.

Plus complexe est le cas des énergies solaires et éoliennes. En effet, sous l'appellation d'énergies solaires on trouve pour commencer plusieurs types d'énergies à priori non polluantes et renouvelables. Il faut effectivement distinguer l'énergie solaire thermique de l'énergie solaire photovoltaïque. L'énergie thermique consiste à capter le rayonnement solaire pour le transformer en chaleur permettant, soit de réaliser un chauffage solaire le plus souvent simple et durable, soit d'obtenir de l'électricité: la chaleur sert alors à créer de la vapeur d'eau qui entraînera des alternateurs susceptibles de produire entre 3 et 15 GW. On peut aussi à l'aide de paraboles concentrer le rayonnement solaire en un point et obtenir ainsi de très hautes températures comme c'est le cas pour le four solaire de Font Romeu dans les Pyrénées françaises.

L'énergie solaire photovoltaïque donne directement de l'électricité grâce aux cellules photovoltaïques regroupées en panneaux de surfaces très variables. Dans ces cellules, un composant électronique qui, exposé à la lumière solaire, produit de l'électricité. Ces composants électroniques sont à base de silicium, de sélénure de cuivre ou d'indium ou de tellure de cadmium. Mis à part le silicium qui est un élément très abondant dans la nature, les autres composants sont assez rares ou même très rare comme l'indium (Numéro 49 de la table de Mendeleev) qui se rencontre en quantités infimes dans les mines de zinc et qui est aussi utilisé dans tous les appareils à écrans LCD. Ce qui fait que son prix qui était de 70 dollars en 2003 a maintenant largement dépassé les 1 000 dollars le kilo. Bien que la production annuelle ne soit que de 20 à 25 tonnes, principalement en Chine (Mongolie Intérieure), les ressources mondiales seront épuisées entre 2018 et 2025 selon les sources. Ce qui signifie aussi que si l'énergie solaire est une ressource renouvelable, il n'en est pas de même pour les appareils qui la transforment en électricité...

D'une façon générale, toutes les technologies modernes utilisent ce que l'on appelle les "terres rares", 15 éléments, N° 57 à 71 de la table de Mendeleev, dénommés lanthanides (17 si on ajoute l'yttrium, N°39 et le scandium N°21), dont la Chine contrôle 97 % de la production mondiale, avec ses gisements situés principalement en Mongolie Intérieure, ce qui donne à ces produits une dimension géopolitique majeure, notamment en limitant les exportations vers des pays concurrents, freinant ainsi leur développement économique.

L'exploitation et le raffinage de ces terres rares est catastrophique pour l'environnement: pour extraire une tonne de terres rares il faut injecter dans le sol entre 7 et 8 tonnes de sulfate d'ammonium, ce qui provoque de nombreux rejets de métaux lourds, d'acide sulfurique ainsi que d'éléments radioactifs tels qu'uranium et thorium. A proximité des sites d'exploitation en Mongolie Intérieure, la radioactivité est 32 fois supérieure à la normale, provoquant de nombreux cancers. Le trop plein des effluents toxiques stockés dans un lac artificiel de 10 km³ est déversé directement dans le fleuve jaune (rapport de Jamie Choi, Greenpeace-Chine).

En outre, les panneaux solaires sont souvent de grands dévoreurs d'espaces dans des installations faites sur plusieurs hectares soit en déboisant soit aux détriments de terres agricoles: pour satisfaire les besoins français en électricité à l'aide de panneaux solaires, il faudrait en couvrir une superficie de 5 500 km², l'équivalent d'environ 2 départements.

Se pose, en outre, le problème des déchets car ces panneaux solaires ont une durée de vie limitée, comprise entre 20 et 25 ans. Dans l'état actuel des choses, les panneaux en fin de vie sont traités comme des déchets mais une directive de Bruxelles préconise le recyclage des composants, ce qui se heurte à deux problèmes: le coût supplémentaire pour les fabricants contraints de récupérer les anciens panneaux ainsi que l'absence de structures industrielles permettant le recyclage des diverses composants. Seuls deux constructeurs, Deutsche Solar et First Solar, ont mis au point des filières de recyclage pour les panneaux à base de silicium cristallin et de tellure de cadmium.

Il semble pourtant très probable que l'énergie solaire occupe une place importante dans l'avenir: les Suisses, notamment, développent considérablement cette énergie et ont mis au point un prototype de catamaran, Planetsolar (Domjan), qui vient de boucler un tour du monde en utilisant la seule énergie solaire ainsi qu'un prototype d'avion, Solar Impulse (Piccard), qui vient aussi d'effectuer le tour du monde grâce à l'énergie solaire.

Qu'en est-il maintenant des éoliennes, autre source d'énergie renouvelable? Le problème se pose à peu près dans les mêmes termes que pour les panneaux solaires à savoir que si le vent est bien une ressource renouvelable il n'en est pas de même pour les éoliennes et leurs implantations terrestres ou marines.

L'implantation des éoliennes capables de produire 2 MW, par exemple, oblige à mettre en place des chantiers gigantesques, à créer des chemins d'accès, des aires d'assemblage, des fouilles, qui, sur un diamètre variant de 15 à 30 m et une profondeur de 2 à 4 m, déplacent entre 1 000 et 1 500 m³ de terre pour les remplacer par du béton ferrailé à l'aide de 25 à 40 tonnes d'acier noyées dans 500 à 900 tonnes de béton, sans parler du passage des câbles ni du transport des diverses composantes des éoliennes et de leur montage. Une pale d'éolienne de 45 m en matière synthétique, fibres de verre ou de carbone imprégnées de résines polyester pèse environ 6,5 tonnes, un rotor complet avec ses 3 pales peut peser 110 tonnes (Vestas V90 de 3 MW). Et leur durée de vie est de l'ordre de 15 ans seulement. Le Danemark qui est le pays européen où l'éolien est le plus développé, se rend compte actuellement des problèmes techniques et financiers posés par l'entretien de ses immenses "fermes à vent", surtout offshore, quicouvrentactuellement aux environs de 15 % des besoins en électricité d'un pays qui ne compte que 5 millions d'habitants.

Sans parler de l'aspect esthétique de ces machines, leur fonctionnement est à l'origine d'une importante mortalité chez les oiseaux, notamment les rapaces et les migrateurs, ou les mammifères tels que les chauves-souris (Manuela de Lucas *et al.* 2007). En mer, le problème est pire, le béton ayant une formulation spéciale qui semble toxique pour la faune et la flore marine tout comme les peintures anti-corrosion aux formulations complexes hautement toxiques. En outre, les pales exposées aux vents et aux embruns libèrent des molécules toxiques dans le milieu marin. "Tout ceci pour dire, simplement, que même les éoliennes de mer sont loin d'être des machines écologiques. Cependant, étant hors du regard de la plupart des gens

(sauf des pêcheurs qui, eux, commencent à réagir), ne dérangeant somme toute que les poissons, mammifères et oiseaux, ces machines sont totalement ignorées des écologistes et même érigées en piédestaux". (www.lecercle.lesechos.fr). Certains spécialistes les accusent aussi d'être responsables de maux de tête et de certains malaises chez l'homme sans toutefois qu'on en ait une certitude absolue.

S'agissant des panneaux solaires et des éoliennes, on peut encore ajouter que leur fonctionnement est assujéti aux conditions météorologiques ce qui fait qu'on n'est pas certain de disposer de l'énergie nécessaire aux moments voulus puisque, dans l'état actuel des choses, on n'est pas capable de stocker l'énergie produite. "En fait, il est illusoire de rêver à des progrès techniques qui, demain, offrirait à l'humanité une énergie propre et disponible à profusion. On ferait là que déplacer le problème, tant il est vrai que de toute façon l'énergie que l'on produit, quelle que soit son origine, se traduit peu ou prou par une consommation d'eau, d'espace, de ressources naturelles et de biodiversité". (Untermaier 2011) Ce qui n'empêche pas par exemple Gingembre (2012) d'écrire : "Sortir du tout nucléaire? Pas si fou..." et d'en calculer le coût, 136,2 milliards d'euros, avec les technologies à l'étude chez de nombreux producteurs d'énergies "propres", ce qui reste à démontrer. Sans oublier que ces nouvelles technologies font très souvent appel à des matériaux rares et/ou n'existant qu'en très petites quantités et dont le producteur, la Chine pour la majeure partie d'entre eux, contrôle et limite la commercialisation.

Ce qui est étonnant, c'est qu'une technologie nouvelle dont des prototypes expérimentaux sont ou vont être à l'essai ne soit pas mentionnée dans cette étude de E. Gingembre: il s'agit pourtant d'une filière qui me paraît intéressante dans la mesure où elle produit de l'énergie sans passer par des produits radioactifs, sans dégager de gaz carbonique et sans provoquer d'importants déchets. Il est, en effet, possible d'obtenir H_2 et O_2 , les combustibles nécessaires au moteur à hydrogène, par électrolyse de l'eau, l'énergie nécessaire étant fournie par des piles photovoltaïques. Un prototype de cette filière devrait être mis en service prochainement dans le Var et permettre à la commune de La Croix Valmer de satisfaire ses besoins en électricité. Un des intérêts majeurs de cette technologie est de palier le caractère aléatoire et intermittent de l'énergie solaire en produisant et en stockant les combustibles qui fourniront, lorsque c'est nécessaire, l'électricité désirée.

Ce moteur à explosion fonctionnant à l'hydrogène et fournissant de l'électricité dans le cadre d'une centrale électrique à La Croix Valmer est basé à peu de chose près sur le même principe que le moteur à essence si bien qu'il existe, par exemple chez Mercedes, des prototypes de véhicules fonctionnant à l'hydrogène. La combustion de H_2 en présence d'oxygène produit de l'eau et dégage de l'énergie: 1 kg d'hydrogène dégage autant d'énergie que la combustion de 3 kg d'essence. Pour les véhicules, la principale difficulté rencontrée est le stockage de l'hydrogène dans des réservoirs: sous faible pression, le volume des réservoirs est prohibitif et sous forte pression il y a un risque important d'auto ignition et d'explosion. Reste à trouver la bonne technologie, sans utiliser d'additifs au carburant qui feraient qu'à l'échappement on provoquerait une pollution qui n'existe pas lorsque H_2 est utilisé pur.

Pour clore cette revue des énergies dites renouvelables, il en reste deux dont il est nécessaire de parler, c'est la géothermie et la biomasse, celle-ci déjà abordée partiellement à propos des biocarburants.

Dans la pratique, on distingue 3 types de géothermie en fonction de la profondeur atteinte pour utiliser la chaleur de la croûte terrestre mais le principe reste le même: on fait circuler un fluide qui se réchauffe en profondeur et qui remonte chargé d'énergie que l'on peut transformer en électricité ou utiliser directement pour le chauffage de bâtiments.

En France, cette source d'énergie est peu utilisée sauf en Guadeloupe où deux unités d'une puissance totale de 15 MW sont en service et assurent environ 10 % des besoins en électricité de l'île.

Dans le monde, on compte plus de 500 installations de puissances variables de quelques MW à plusieurs dizaines de MW réparties dans une vingtaine de pays dont les Etats-Unis, le Japon ou l'Italie, ainsi que dans des pays dits "émergents" pour lesquels ce mode de production d'électricité couvre jusqu'à 30 % des besoins. (www.adme.fr)

Mis à part le prix de revient des installations qui est relativement élevé, il ne semble pas que ce type d'énergie soit à l'origine d'une quelconque pollution: avec l'augmentation du prix des autres énergies, l'énergie géothermique peut, dans un proche avenir, devenir compétitive.

Le terme de biomasse quant à lui recouvre un champ très large de matières: le bois, les déchets des industries de transformation du bois, les déchets agricoles tels que paille ou lisiers, la fraction fermentescible des déchets ménagers et des industries agroalimentaires, le bio gaz des décharges ou les produits de la méthanisation tels que boues d'épuration, lisiers ou produits des décharges sont les plus couramment utilisés pour produire de l'énergie électrique ou de la chaleur. Sans oublier, bien évidemment, les diverses cultures pratiquées pour la production des biocarburants dont nous avons parlé précédemment.

La combustion est la technique la plus simple utilisée pour convertir la biomasse en énergie mais des biotechnologies ont été mises au point pour transformer la biomasse solide en une biomasse gazeuse (biogaz) ou liquide (biocarburant) plus faciles à utiliser. La gazéification s'effectue le plus souvent par voie biochimique, la matière organique solide étant transformée en gaz par l'action de bactéries spécifiques. Le gaz obtenu est généralement du méthane, gaz à effet de serre plus nocif que le gaz carbonique, ce qui oblige à des installations parfaitement étanches pour éviter sa dispersion dans l'atmosphère.

La transformation peut aussi s'effectuer par voie thermochimique: à haute température et en présence d'oxygène et de vapeur d'eau on obtient un gaz synthétique (syngaz) composé de dihydrogène, de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures gazeux. C'est une des voies de recherche actuelle pour obtenir du dihydrogène biologique H_2 susceptible d'être utilisé dans les moteurs à hydrogène. (www.futura-sciences.com).

Toutes ces techniques sont coûteuses et nécessitent des installations très performantes pour éviter les fuites susceptibles de nuire à l'environnement: sous ces réserves, ce sont certainement des méthodes d'obtention d'énergie qui ont un avenir et qui sont susceptibles d'être agréées par les écologues. On peut, par contre, se poser la question de savoir qui est à l'origine de ce projet d'interdiction annoncé en janvier 2013 de faire des feux de bois dans sa cheminée, "les imbrûlés étant aussi nocifs que les fines particules émises par les moteurs diesel"?

CONCLUSIONS

L'homme comme nous venons de le voir est indiscutablement responsable de nombreux dégâts environnementaux, disparition d'espèces végétales et animales à un rythme accéléré, pollutions diverses, épuisement de ressources naturelles, etc., etc.

Cependant, en fin de compte, à l'échelle géologique de temps, ce n'est pas notre planète qui en subira les conséquences mais l'homme lui-même, cet orgueilleux persuadé qu'il peut commander à la nature. La terre, elle, a déjà connu par le passé bien des perturbations beaucoup plus importantes que celles provoquées par l'homme. Sans remonter bien loin, entre 60 et 65 millions d'années, "brutalement" (à l'échelle géologique bien sûr, ça ne s'est sûrement pas fait en 24 heures !), les Dinosaures ont totalement disparu de même que plus de 90 % de la flore et de la faune de l'époque et pourtant, lorsque nous sommes arrivés sur cette terre, il n'y a guère que 40 000 ans pour l'*Homo sapiens sapiens*, nous avons trouvé une flore et une faune riches et exubérantes. Malgré le plissement alpin, la collision avec d'énormes météorites et peut-être d'autres accidents de parcours que nous ignorons, la terre a bien survécu tout comme elle survivra à notre passage. Car, en définitive, c'est bien de cela dont il s'agit, combien de temps notre planète pourra-t-elle encore nous supporter?

J'ai évoqué dans les pages précédentes la croissance de nos effectifs, la surexploitation des ressources naturelles ainsi que les difficultés qu'il y a pour nourrir toute cette population sans parler de l'abondance des déchets que nous n'arrêtons pas d'accumuler. Pour les démographes de l'ONU, selon les scénarios envisagés, nous serons 9 milliards entre 2040 et 2080 (Fig. 16).

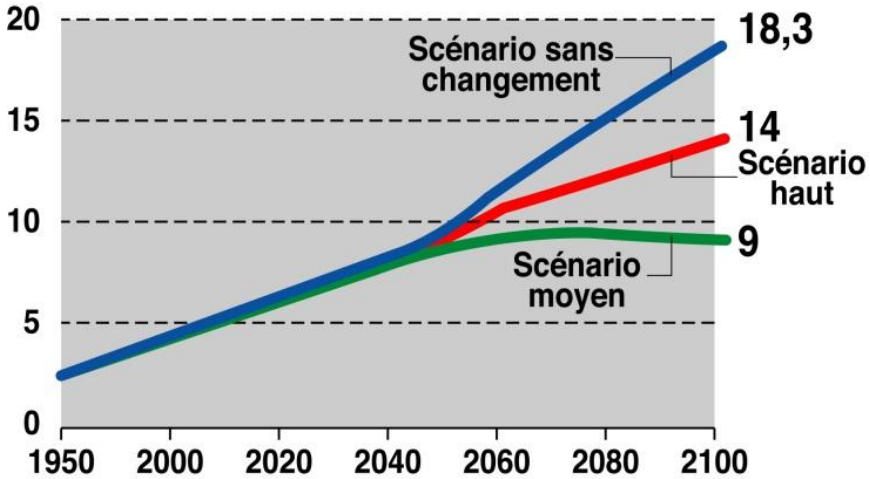


Figure 16. Projection de la population mondiale à l'horizon 2100 selon les différents scénarios envisagés. D'après Mahuet, 2011.

Le scénario appelé "*moyen*" sur ce graphique est de loin le plus intéressant car, pour l'écologue, il est absolument identique à celui qu'il observe lorsqu'il étudie une population quelconque aussi bien dans son milieu naturel que dans un flacon: après une période de croissance exponentielle, le niveau de la population se maintient ensuite à un niveau compatible avec les ressources du milieu. C'est démontré aussi bien pour les moutons introduits dans les milieux vierges australiens que pour les protozoaires élevés dans des récipients plus ou moins volumineux. Et notre flacon à nous, c'est la biosphère ! Nous n'échappons pas à ce principe fondamental de l'écologie. Reste à savoir si c'est vraiment ce scénario que nous observerons mais, quoi qu'il en soit, les autres courbes arriveront elles aussi à un maximum puis se maintiendront ensuite à un niveau quasi constant. Pour les démographes et particulièrement pour B. Schoumaker "si on regarde l'histoire des projections de population au niveau mondial, on voit que le scénario moyen a toujours été, de tous, le plus proche de la réalité" (Mahuet 2011). La grande inconnue est l'Afrique où l'indice synthétique de fécondité est en 2010 de 4,27 alors que pour tous les autres continents, à la même date, il varie entre 1,53 pour l'Europe et 2,39 pour l'Océanie (2,26 pour l'Asie et 2,09 pour l'Amérique du Sud). Ce qui signifie qu'à l'horizon 2100, sans changement, on compterait 8,80 milliards d'Africains et non pas 2,50 milliards comme prévu par le scénario moyen ! En 2010, la population africaine est estimée aux environs de 1 milliard d'habitants. Mais pour les experts du Conseil Économique et Social des Nations Unies, il est plus que probable que "chaque pays fasse tomber son indice synthétique de fécondité, donc le nombre d'enfants par femme, sous le seuil de remplacement de la population pendant environ 100 ans, avant de se stabiliser autour de ce seuil pour les siècles suivants".

Ne nous faisons pourtant pas trop d'illusions car il n'a jamais été possible dans un espace fini de poursuivre une croissance infinie, croissance de population bien sûr mais aussi croissance de la technologie. Les ressources de la planète ont aussi des limites et qu'il s'agisse des aliments, du pétrole, de l'uranium ou des terres rares, leurs quantités sont limitées et ne peuvent être augmentées. Faut-il pour autant céder à la panique et vouloir tout interdire, tout continger ? Il est avant tout indispensable de bien prendre conscience que nous vivons tous sur la même

planète et que nos actions ont obligatoirement des conséquences pour les autres: si la mondialisation, dont on parle tant, pouvait déjà prendre conscience de cela, nous aurions fait un grand pas en avant car actuellement chaque pays cherche avant tout à tirer un profit maximum, pour son compte personnel, des ressources que la géographie et la politique lui ont fourni en partage. Et les investisseurs ou spéculateurs de tous niveaux qui achètent ou louent des terres africaines, asiatiques ou sud-américaines pour les mettre en cultures intensives lorsque ce sera nécessaire pour alimenter la population mondiale (en y cultivant sans doute des OGM?) ne font qu'aggraver le problème, d'une part, en privant les autochtones de leurs sources actuelles de nourriture et, d'autre part, en envisageant de modifier les équilibres naturels dans les régions concernées. Rien qu'en 2009, plus de 50 millions d'hectares ont ainsi été achetés ou loués par ces spéculateurs, portant à plus de 220 millions d'hectares (8 fois la superficie du Royaume Uni !) les terres cultivables qui ont changé de mains entre 2000 et 2010 sans qu'aucun frein n'y soit mis pour l'instant...

Ensuite, il est indispensable d'effectuer des recherches pour améliorer nos conditions d'existence et celles des populations les plus défavorisées. Il y a sûrement de nouvelles ressources à trouver et à exploiter dont nous ignorons tout pour le moment et il faut bien avoir conscience que le risque zéro n'existe pas. Encore faut-il avoir les moyens de chercher ces ressources nouvelles sans être toujours et constamment freiné par le principe de précaution, utile dans quelques domaines mais qu'il ne fallait pas généraliser ni inscrire dans la constitution. Des groupes de réflexion comme Solagro, Négawatt, Gaïa ou Médée ont indiscutablement leurs places, même si certaines de leurs opinions peuvent parfois faire sourire tellement elles semblent, dans le contexte actuel, irréalistes ou utopiques. Qui sait si, en fin de compte, ne naîtront pas de nouvelles possibilités à partir de leurs réflexions?

Sous la pression du lobby des écologistes se tiennent chaque année de multiples conférences internationales qui coûtent des sommes considérables pour un résultat nul. L'exemple des conférences sur le "changement climatique" est très démonstratif à cet égard. "Bali, Copenhague, Cancun, Durham, Rio de Janeiro, Doha, autant de noms de lieux, autant de réunions organisées par l'ONU pour s'accorder sur la "lutte contre le réchauffement climatique". Autant d'échecs, aussi. De plus en plus évidents. Des centaines de millions de dollars dépensés pour réunir des milliers d'experts et de responsables politiques pour un résultat simple à énoncer: zéro !" (Allègre 2012). N'y a-t-il pas mieux à faire avec cet argent? Surtout qu'au risque de me répéter, un changement climatique ne peut pas s'apprécier sur quelques années ni quelques décennies.

Il faut en terminer avec l'attitude négative des écologistes et convaincre l'opinion publique et nos hommes politiques que l'écologie, la science, devrait faire partie intégrante du programme de tous les partis politiques, sans exception. Bien comprendre qu'il est indispensable de retrouver un équilibre harmonieux entre l'homme et la nature qui restera toujours, quoique nous fassions, la maîtresse absolue de nos destins: nous ne sommes même pas capables de prévoir les éruptions volcaniques ni les tremblements de terre, incapables également de savoir si le plissement alpin est vraiment terminé ou si un autre plissement se prépare, capable de nous anéantir. N'oublions pas que tout est lié et que notre impact sur notre environnement est peut-être encore plus négatif que nous le pensons aujourd'hui. D'où l'impérieuse nécessité d'une réflexion écologique globale et positive.

Nous avons l'impression dans notre flacon, la biosphère, d'avoir le choix entre deux possibilités, privilégier l'humanité ou privilégier la nature: en réalité, il me semble bien que nous n'avons pas, ou plus, ce choix. Notre flacon deviendra invivable lorsque nous aurons totalement dégradé la nature dans laquelle nous vivons. Jusqu'à preuve du contraire, l'avenir de l'humanité est lié à l'avenir de la biosphère, d'où l'absolue nécessité de respecter les fondamentaux de l'écologie si nous voulons survivre dans notre flacon !

REFERENCES

- AkasofuSyun-Ichi. 2009. Natural components of climatic change during the last few hundred years. PDF, in part of Akasofu's series, "notes on climatic change" published on his page at the IARC. International Arctic Research Center, 11p
- Allègre 2012. Les bureaucrates du climat, *Le Point* 2101-2102, p. 20.
- Allègre C. 2010. L'imposture climatique ou la fausse écologie. Ed. Plon, Paris. 286 p.
- Arnoux R. 2012. Feu vert pour la création d'ITER; <http://www.iter.org/fr/actualites/1393>
- Chylek 2009. Les suites du Climat égare (II) : Lettre ouverte de Petr Chylek à ses collègues. 4 p.
- Crichton M., 2006. Etat d'urgence. Ed. Robert Laffont, Paris. 647 p.
- Dubrion R., 2008. Le climat et ses excès, éditions Féret. 160 p.
- Echaubard M. 2011. Après Fukushima. *Le Courrier de la Nature*, 258, pp.42-43.
- EDF, 2009. <http://www.edf.com/html/RA2009/UK>.
- Garrouste R.. 2012. Les Insectes à la loupe. Ed. Dunod, Paris. 176 p.
- GIEC 2010. Rapport FAR 62 p.+410 p+294 p. +330 p.
- Gingembre E. 2012. Sortir du tout nucléaire, n° 245 de Capital.
- Giraudon R. 2010. Le réchauffement climatique actuel est-il d'origine anthropique?, 58 p.
- Hofstein C. "La Gaule, 2 millions de sangliers. *Le Figaro Magazine* du 2 novembre 2012 72-75.
- Kalitev V. 2012; Arrêt sur image, *Figaro Magazine*, 28-29 décembre 2012. N° 21276-21277; 12-13
- Lovelock J. 2009. The vanishing Face of Gaïa. A final warning. Allen Lane, USA. 192 p.
- Mahuet A. 2011. Population mondiale: la régulation ou l'explosion. *La Libre Mensuelle*, 4, 36-38.
- Manuela de Lucas Guyonne FE Janss and Miguel Ferrer 2007. Birds and Wind Farms: Risk Assessment and Mitigation. 275 p.
- Marsh, N.; Svensmark, Henrik; Christiansen, Freddy; Bondo, Torsten 2006./ ISAC WP300 and WP 400 : Data Interpretation and Quantification of global climate modulations.
- Mathieu & Serge Antoine. 1984. "Le Queyras », Edit. Parc Naturel Régional du Queyras, 113 p.
- P. Jouventin, 2012. *Le Courrier de la Nature*, N° 267, mars-avril 2012
- Qin Z. & Buehler M.J. 2012. Carbon dioxide enhances fragility of ice crystals. *Journal of Physics D : Applied Physics*, 45, 445302, doi:10.1088/0022-3727/45/44/445302.
- Raffin J. P. 2007. Rapport préliminaire Grenelle de l'environnement. Extraits!
- Ramade F. 2011. La catastrophe de Fukushima. Quelles sont ses causes et ses conséquences radio-écologiques? *Le Courrier de la Nature*, 258, pp. 20-41.
- Staune J. 2010. La science en otage. Comment certains industriels, écologistes, fondamentalistes et matérialistes nous manipulent. Ed. Presses de la Renaissance, Paris. 368 p.
- Svensmark H. 2007. A new theory of climatic change. *Totem Book* ISBN 978-1-84046-, 48, 1.18-1.24.
- Svensmark H., Jens Olaf P. Pedersen, Marsh N.D., Enghoff M. B. & Uggerhøj U. I. 2007. Experimental evidence for the role of ions particle nucleation under atmospheric conditions. *Proc. Roy. Soc., A*, 463, London. 385-396.
- Untermaier J. 2011. Le mythe de la bonne énergie, Editorial. *Le Courrier de la Nature*, N° 258, 1 p.
- Ward P. 2009. The Medea Hypothesis. Is life on Earth ultimately self-destructive? Princeton University Press. 208 p.
- White. W. B., Lean J., Cayan D.R. & Dettinger M.D. 1997. *Journal of geophysical research*, 102, C2, 3255-3266.

WEBOGRAPHIE

<http://www.iter.org/fr/actualites/1393>

http://www.fr.wikipedia.org/wiki/Z_machine.

<http://www.lecercle.lesechos.fr/politique/vie-politique/221160585/projet-iter-heure-comptes>.

<http://www.7sur7.be/7s7/fr/2668/Especes-Menacees/article/detail/1068048/2010/02/15/Le-froid-polaire-tue-des-coraux-protoges-en-Floride.dhtml>.

<http://www.adme.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&catid=12897>).

<http://www.cen.ulaval.ca/marge/index.php?url=21210>.

<http://www.Dailymail.co.uk>.

<http://www.déchets-radioactifs.com>.

<http://www.druide-d-hier-et-de-demain.e-monsite.com/blog/genimalacta-solstice-d-hiver.html>.

http://www.ecoinfo.CNRS.fr/article_233.html.

<http://www.futura-sciences.com/fr/question-reponse/t/energie-renouvelable>.

http://www.IRSN.fr/FR/base_de_connaissances/Environnement.

<http://www.iter.org/fr/actualites/1393>.

<http://www.iter.org/fr/actualites/1393>.

<http://www.lecercle.lesechos.fr/économie-société-environnement/221131173/éoliennes>.

<http://www.linternaute.com/actualite/societe-France/radioactivitz-France/en>.

<http://www.observatoire-electricite.fr/consommation-d-electricite-en-france>.

<http://www.swpc.noaa.gov/products/solar-cycle-progression>

[http://fr.wikipedia.org/wiki/observatoire de l'industrie électrique](http://fr.wikipedia.org/wiki/observatoire_de_l'industrie_electrique).

<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/about>.

ACRONYMES

AMO : Atlantic Multidecadal Oscillation
 ANDRA : Agence Nationale de gestion des Déchets Radio Actifs
 CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique (et aux énergies alternatives)
 CERN : Centre d'Étude et de Recherche Nucléaire
 EPICA : European Project for Ice Coring in Antarctica
 EPR : Réacteur Pressurisé Européen(European Pressurized Reactor)
 FDA : Food and Drug Administration
 GCR : Rayons cosmiques Galactiques
 GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat
 GTC : Giga Tonnes de Carbone
 HALV : (déchets radioactifs) à Haute Activité et Longue Vie
 INB : Installation Nucléaire de Base
 INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
 IPCC := GIEC en anglais = Intergovernmental Panel on Climatic Change
 IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
 ITER : International Thermonuclear Experimental Reactor
 MOX : Mélange d'Oxydes (de plutonium et d'uranium)
 NRC : Nuclear Regulatory Commission
 OGM : Organismes Génétiquement Modifiés
 OMM : Organisation Météorologique Mondiale
 ONU : Organisation des Nations Unies
 PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
 REB : Réacteur à Eau Bouillante
 REP : Réacteur à Eau Pressurisée
 SNPN : Société Nationale de Protection de la Nature
 TSN : Transparence et Sécurité Nucléaire.

Remerciements

L'auteur tient à remercier très vivement tous ceux qui, au Maroc comme en France, ont contribué à la réalisation de cette publication.

L'auteur

Né en janvier 1929 à Asnières (92), il passe son enfance en Bretagne et son adolescence en Berry avant de suivre ses parents en Algérie où il obtient ses baccalauréats A, puis Sciences expérimentales (Alger 1948-1949).

Il effectue ensuite ses études universitaires à Nancy où il obtient sa licence de Sciences Naturelles ainsi que son diplôme d'Ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Nancy en juin 1953.



Il débute sa carrière en qualité d'assistant au Musée Océanographique de Monaco, puis libéré de ses obligations militaires effectuées en partie en Algérie, devient chercheur au CNRS affecté à la station biologique de la Tour de Valat en Camargue où, tout en étudiant l'ensemble des invertébrés des eaux saumâtres, il prépare sa thèse de doctorat qu'il soutiendra en Sorbonne en mars 1961 sous la présidence du Professeur P.P. Grassé.

Il part ensuite en qualité d'expert de l'UNESCO en République de Guinée-Conakry avec pour objectif, à la demande de Sékou Touré, la reprise en main des réserves naturelles du pays (1961-1962).

De retour en France, il crée à l'école Normale supérieure, rue d'Ulm à Paris, un premier troisième cycle d'écologie au laboratoire du Professeur Maxime Lamotte avant d'être nommé (1965) Maître de Conférences puis Professeur à l'Université d'Orléans-La Source où il crée un nouveau troisième cycle pluridisciplinaire d'écologie, ainsi qu'un Institut d'Ecologie Appliquée qui existe toujours. Il est en même temps le premier président de la Fédération Française des Sociétés de Protection de la Nature de 1968 à 1974, (FFSPN) qui deviendra par la suite France Nature Environnement (FNE) qui existe encore actuellement.

Il quitte Orléans en 1978 pour devenir coopérant à l'Université Mohammed V de Rabat-Agdal au Maroc pour enseigner l'écologie et la Zoologie et former grâce à un nouveau troisième cycle d'écologie, les premiers chercheurs marocains dans cette discipline. Il prend sa retraite en septembre 1991.

Il est l'auteur d'une centaine de publications scientifiques ainsi que de 3 ouvrages : la Faune d'Europe des Odonates (Masson, 1968), Les clés pour l'écologie (Seghers, 1971, réédité en 1973 et traduit en 5 langues dont le russe), et l'écologie : Science ou politique? (Editions Persée, 2012).

paguesse83@wanadoo.fr