

Les grandes crises écologiques de la préhistoire. Un passé pour quel avenir ?

Jean-Louis Vernet¹

Alors que depuis 1992 et la conférence de Rio sur la biodiversité, l'opinion publique est sensibilisée à la protection de l'environnement et est préparée à de grands bouleversements climatiques, un retour à une perspective historique est plus que jamais nécessaire.

En effet, contrairement à une opinion trop souvent répandue, le changement improprement désigné le dérèglement climatique est la règle dans l'histoire de notre planète. Sur cette trame du changement, seront passées en revue les grandes crises de la biodiversité qui ont présidé à de grandes extinctions majeures dans la vie sur le globe et dont une des dernières, sinon la plus importante, est celle de notre proche parent, l'homme de Néandertal.

Plus près de nous, la crise du Petit âge Glaciaire précède le réchauffement actuel (optimum climatique du XXI^{ème} siècle, le « Petit âge chaudière ») dont une composante est attribuée avec une grande probabilité à l'effet de serre additionnel provoqué par l'homme et ses activités industrielles et agricoles.

Certains pensent que le réchauffement qui s'annonce va nous protéger d'une entrée précoce en glaciation. Rien n'est moins sûr.

Plus sûrement, la prise de conscience du changement climatique passe, plus que jamais, par une lecture attentive et critique de la science, qui ne peut fournir que des résultats toujours contrastés voire contradictoires et rarement décisifs², on se méfiera donc des simplifications commodes mais réductrices sinon tendancieuses véhiculées par les médias généralistes même si certains font réellement œuvre de pédagogie.

Avant-Propos³

- On disait déjà dans les années 1950-60 que « les saisons ne sont plus ce qu'elles étaient » (sous-entendu il n'y a plus d'hivers avec de la neige, du froid ...)

- Dans les années 1950-60, la presse se fit même l'écho que « si le climat se détraque, c'est la faute à la bombe atomique ».

- A la mi 1970, des scientifiques pronostiquèrent pour le XXI^{ème} siècle « une entrée prochaine en glaciation » ... dans l'indifférence générale des médias.

- En 2007, « tous les scientifiques sont d'accord (sic) » pour ... prédire un réchauffement climatique majeur à la fin du siècle ... et là les médias en font leurs choux gras.

- Dans votre grande surface préférée on vous vend des sacs biodégradables (ailleurs gratuits) « pour défendre ce qui reste de notre environnement »(sic)

- Une entreprise du tramway de Montpellier fait un goudronnage écologique (sic)

- A la télé du 9 janvier 2007, avec une mine d'enterrement, un célèbre présentateur nous annonce la floraison précoce des mimosas et des amandiers, du jamais vu à cette date !

Plus sérieusement : L'écologie est la science qui étudie les relations des êtres vivants entre eux et avec leur milieu, l'homme en faisant partie comme acteur et non comme un observateur, tendance encore beaucoup trop répandue surtout parmi les citoyens⁴. A ce titre la vieille opposition homme-nature n'a plus lieu d'être.

¹ Conférence à l'Ecole Antique de Nîmes, Carré d'art, le 17 janvier 2007.

² Ce qui devrait exclure du champ de la science le « principe de précaution ».

³ Nous avons utilisé dans cet avant-propos un ensemble de « morceaux choisis » du type « café du commerce » répandus dans le public pour mieux les dénoncer.

⁴ En toute logique on ne devrait donc pas parler d'environnement.

Bien au contraire l'homme « co-évolue » avec le milieu dont il est issu.

La stabilité est toujours l'exception, le changement est la règle. L'évolution biologique dans un environnement changeant n'est pas inéluctable. L'évolution biologique a été et est encore sous la dépendance du climat, d'aléas, du hasard, de la chance. Pour l'évolutionniste Gould⁵, tourner le film de l'évolution à l'envers puis le dérouler à nouveau pourrait donner des résultats surprenants : ainsi les dinosaures auraient pu ne pas disparaître ou l'homme de Néandertal supplanter l'homme moderne.

L'échelle des phénomènes importe beaucoup et, longtemps celle de la vie humaine ne permettait pas de soupçonner ces changements ... jusqu'à aujourd'hui ! (hors des cercles spécialisés)

Cet exposé vous invite à parcourir l'histoire des grandes crises écologiques et à situer celle qui s'annonce dans un espace raisonnablement optimiste, loin du catastrophisme ambiant.

La biodiversité

15589 espèces animales sont sur la liste des espèces menacées de l'UICN (Union mondiale pour la nature).

- 7000 sont en danger d'extinction soit 23% des espèces de mammifères, 12% des oiseaux, 42% des tortues et 32% des amphibiens. Côté invertébrés, les connaissances sont dérisoires.

En outre, 200 000 hectares de forêt tropicale disparaissent en une semaine.

On lit aussi : 1% des espèces vivantes disparaît chaque année.

A ce rythme, avant la fin du siècle, la moitié des espèces aura disparu.

Faut-il souscrire à ce catastrophisme ?

1- On estime qu'aujourd'hui il existe 1 à 2 % de l'ensemble des espèces ayant existé. Taux qui va jusqu'à 10 % si on estime que la plupart des espèces vivantes aujourd'hui sont des invertébrés terrestres !

2 - Linné en 1758 a identifié 9000 espèces, soit

0,6 % environ des estimations actuelles.

3 - De nos jours, la biodiversité s'élèverait sur la base d'espèces formellement connues et répertoriées à 1 500 000 dont 1 080 000 animaux. Le reste 270 000 plantes, 70 000 champignons, 40 000 algues et 40 000 protozoaires.

4 - 15 000 espèces sont identifiées chaque année. Les insectes représentent 62% des nouvelles descriptions ! Il faut savoir que l'on découvre toujours de nouvelles espèces chez les champignons ; seulement 5% sont décrites sur une estimation de 1,5 million ! Près de 9 siècles seront nécessaires pour en achever l'inventaire ainsi que celui des plantes supérieures et des invertébrés.

5 - On ne reconnaît donc pas comme réaliste aujourd'hui d'achever d'inventorier la totalité des espèces vivantes. Il y a mieux à faire en biologie !

6 - La disparition d'espèces constatée ou à venir s'inscrit donc dans un ensemble ouvert que représente la biodiversité. Ce n'est pas une boîte avec un fond comme beaucoup l'imaginent⁶.

Les crises de la biodiversité

Depuis plus de 500 Ma⁷, la Terre connaît des alternances de chaud et de froid. Depuis plus de 2 Ma la Terre est dans son ensemble en période froide.

Les quatre grandes périodes chaudes de l'histoire de la Terre : Cambrien, Silurien - Dévonien, Trias - Jurassique, Crétacé - Tertiaire.

Depuis les débuts de la géologie, on sait qu'il existe des crises de la biodiversité. L'échelle des temps géologiques a même été subdivisée sur les bases des grands bouleversements passés du monde vivant (fig. 1).

Cinq grandes crises majeures ont été reconnues avec une périodicité de l'ordre de 100 Ma, la dernière, il y a 65 Ma. Nous approchons donc de la sixième !

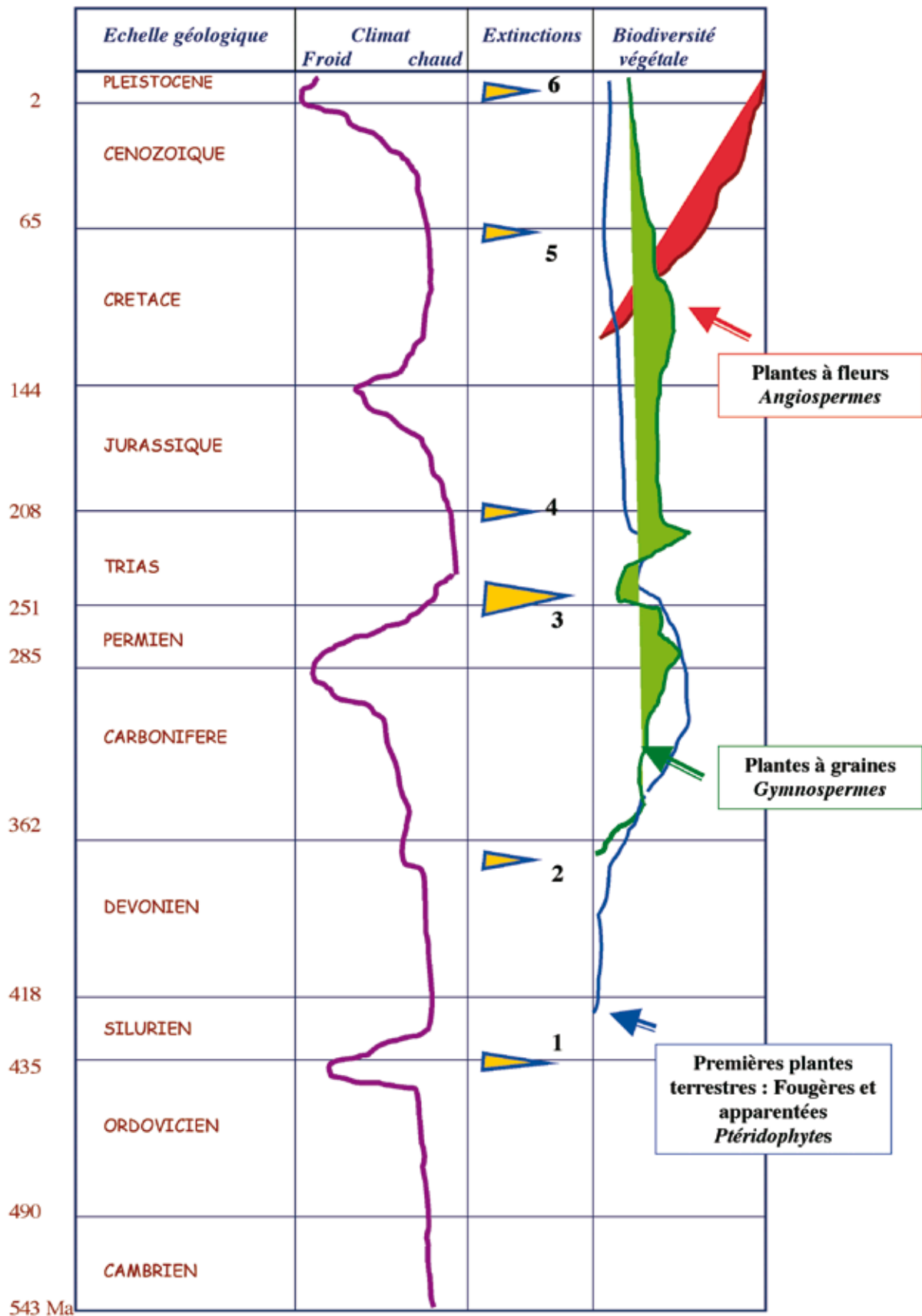
Cambrien : La vie a commencé dans les mers où elle foisonne il y a 545 Ma.

Silurien - 435 Ma : Des plantes herbacées parentes des fougères colonisent les terres émergées (fig. 2). La première des 5 extinctions est sans doute la cause ou le résultat (!) du passage instantané du

⁵ Parmi ses nombreux ouvrages : La vie est belle, Seuil, 1991 ou Points sciences 1998.

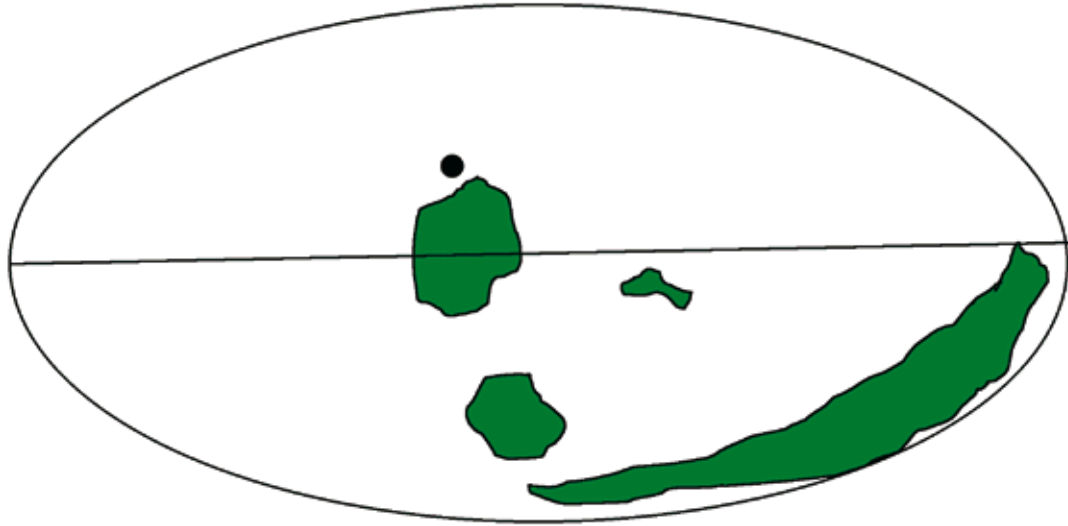
⁶ Systématique, ordonner la diversité du Vivant, Rapport sur la science et la technologie n°11, Académie des Sciences, oct 2000, 257 p., TEC et DOC édit. Paris

⁷ Ma = million d'années.

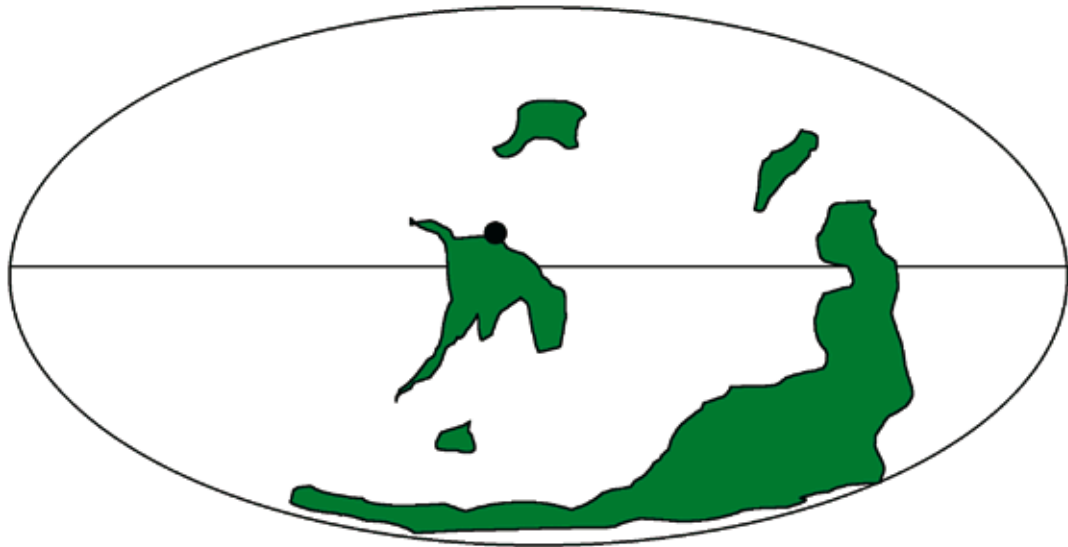


(fig. 1) Climats, extinctions et biodiversité végétale depuis plus de 540 millions d'années.

Cambrien – 545 Ma, la vie essentiellement marine se diversifie



Silurien -435 Ma 1^{ère} crise de la biodiversité affectant la vie marine



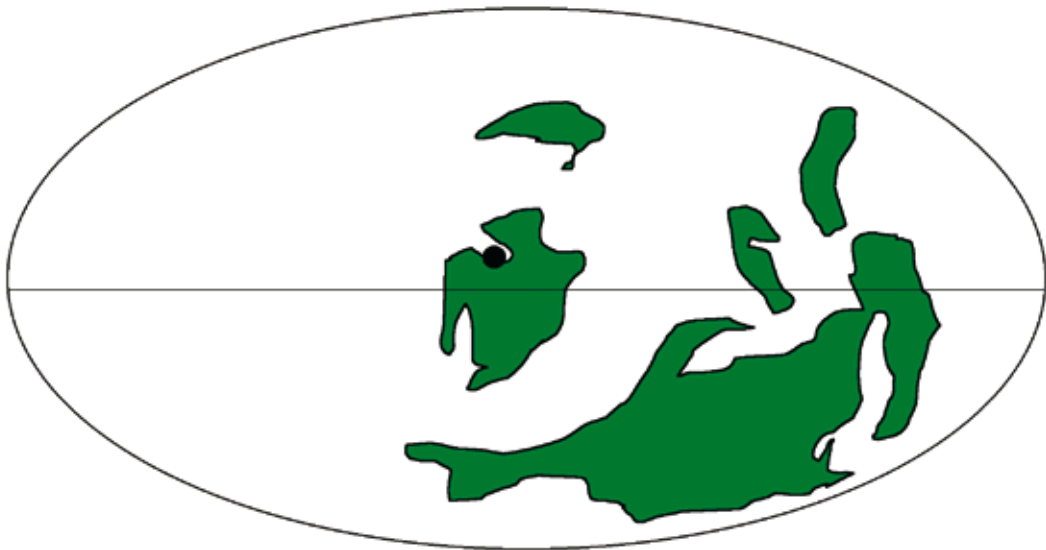
(fig. 2) Paléogéographie au début des temps fossilifères, la pastille noire indique très approximativement la position virtuelle de la France ; noter la proximité de l'équateur.

froid au chaud à la fin de l'Ordovicien. 27% des familles d'invertébrés marins dont 57% de genres disparaissent.

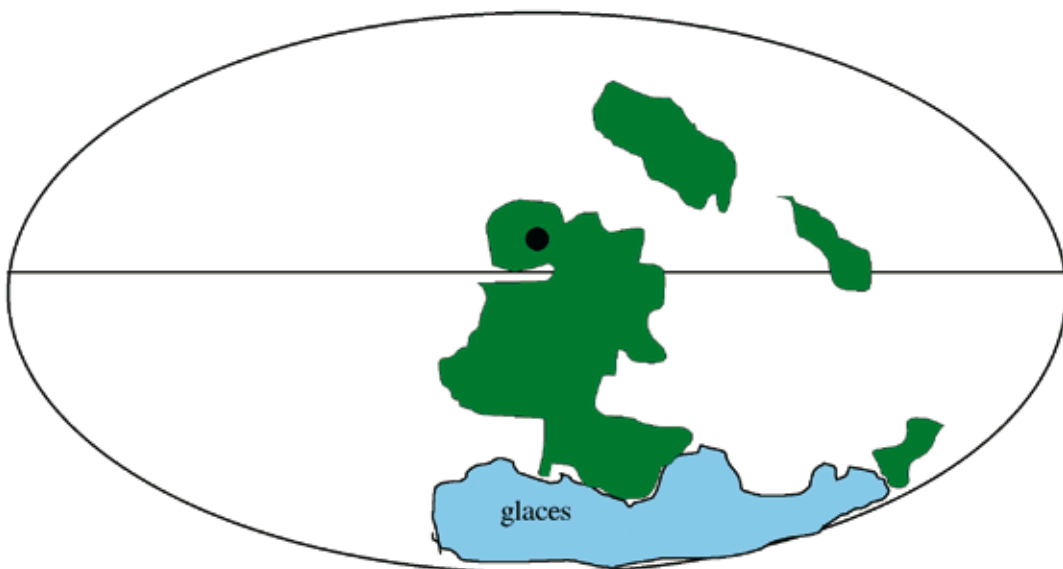
Dévonien - 380 Ma : Les plantes herbacées se développent et les premiers arbres apparaissent. La seconde extinction générale de la biodiversité

avec 19% des familles et 50% des genres. Que s'est-il passé, changement rapide avec un bolide extra terrestre ou plus graduellement avec la rencontre de deux continents, la montée de la mer et/ou un changement climatique ? (fig. 3)

Dévonien -380 Ma : 2^{ème} crise de la biodiversité



Carbonifère -385 Ma, un climat chaud et humide propice à la forêt



(fig. 3) Paléogéographie au moment de la conquête des continents par la forêt, la pastille noire indique très approximativement la position virtuelle de la France ; noter la proximité de l'équateur et la glaciation dans le Gondwana au sud.

Fin du Permien : – 255 Ma : La troisième extinction de masse (57 % des familles marines et 83 % des genres) mais la première pour l'importance du désastre sur la biodiversité. Elle a été si soudaine que l'on a suspecté un événement catastrophique, météorite ou comète, mais aucune preuve pétrographique et sédimentaire, tels les quartz choqués, n'a été apportée. Les Gymnospermes (nos futurs pins et sapins actuels) qui avaient commencé à prospérer au Carbonifère se diversifient rapidement comme dopées par la crise d'extinction !

La crise de la fin du Permien est considérée comme la plus dramatique de toute l'histoire de la terre avec la quasi disparition de la totalité des espèces marines et beaucoup de dégâts sur le continent massif de l'époque ou pangée (fig. 4). Le repeuplement végétal sera lent au cours du Trias, c'est la période de renouvellement la plus importante, symétrique donc de la précédente. Les « fabuleuses » forêts houillères et leurs arbres extraordinaires par leur morphologie et leur reproduction disparaissent définitivement. Le climat est aride et la teneur en CO₂ élevée au Trias inférieur sauf aux hautes latitudes où le climat est chaud et humide. La restauration de la flore a été longue. Ce sont les *Pleuromeia* (photo 1) qui ont joué un rôle majeur dans cette reconquête.



(photo 1) *Pleuromeia*, un arbre de reconquête au Permien, descendant des *Lépidodendrons* du Carbonifère (Carrion et al. 2006)

Pourtant descendant des arbres carbonifères, ils vont préparer la place aux forêts de conifères du Trias moyen. Contrairement à aujourd'hui où tous les conifères sont des ligneux sinon des arbres, il existait à cette époque une conifère herbacée *Aethophyllum* à cycle reproducteur rapide qui a ainsi pu se répandre sur les milieux précédemment décimés⁸.

Jurassique : -195 Ma

La quatrième extinction, 23% des familles marines et 48% des genres sont éradiqués (fig. 4). La radiation des gymnospermes en est freinée. Si bien que l'on peut dire que si la troisième crise d'extinction a initié la radiation adaptative des gymnospermes, la quatrième crise l'a stoppée. Sans cette crise, ces plantes auraient connu au Jurassique une richesse inégalée.

Sur les vertébrés tétrapodes la crise a été dramatique si bien que des archosaures primitifs et les thérapsidés (reptiles mammaliens) disparaissent laissant le champ libre aux dinosaures. Noter : une géographie un peu plus familière ...

A la fin du Jurassique vers – 150 Ma des conditions sub glaciaires se mettent en place dans l'hémisphère sud pour persister jusqu'au Crétacé inférieur. Chez nous, c'est la mer (fig. 4) !

Ceci a un profond effet sur les dinosaures mais beaucoup moins sur les plantes. Il est important de noter que le découplage évolutif plantes/dinosaures demeurera un patron remarquable au Jurassique et au Crétacé ; en d'autres termes aucune coévolution plantes/dinosaures ne peut être considérée.

Crétacé :

Une phase d'extinction parmi certains dinosaures herbivores est reconnue au Crétacé moyen. Elle coïncide avec la radiation des plantes à fleurs comme s'ils n'avaient pu s'adapter à une nouvelle alimentation !

Pourtant, les grands dinosaures ne semblent pas touchés par ces changements de flores, ce qui suggère qu'ils étaient capables de se nourrir aussi bien de résineux que de tendres feuilles ! On peut se demander dans quelles limites le changement de régime a plu aux herbivores !

Les effets de la cinquième extinction : beaucoup d'animaux marins et les dinosaures meurent tous à

⁸ Bottjer D.J. et Gall J.-C (2005)

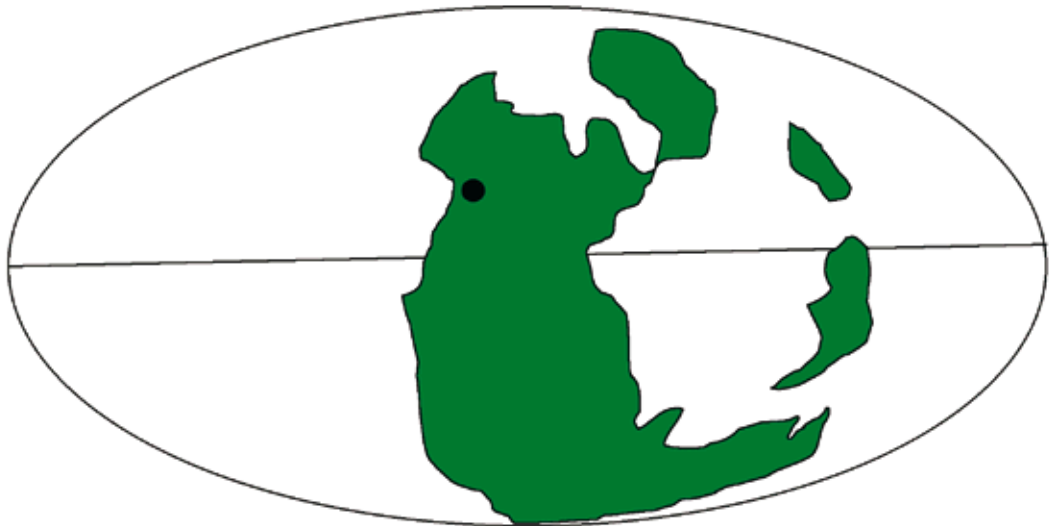
la fois en un bref instant géologique. La radiation soudaine des plantes à fleurs n'est pas associée à ce phénomène d'extinction ni même à l'évolution des dinosaures ou des insectes.

Le paradoxe n'est qu'apparent quant on connaît la biologie des plantes à graines : leur mode de reproduction avec passage à une vie ralentie dans les semences pouvant durer plusieurs années, leur facilité à se croiser entre elles au contraire

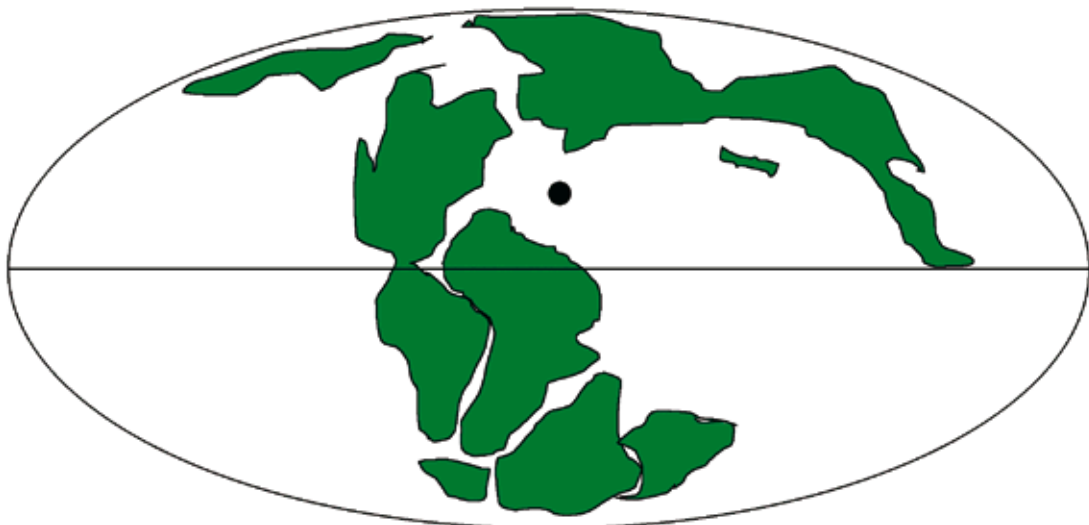
des animaux où la barrière génétique est plus hermétique, leur facilité à se reproduire par autogamie voire sans intervention de l'autre sexe, leur multiplication végétative très typique...

Tout cela les prédispose à résister à des événements traumatiques majeurs (nébulosité voire nuit, chute des températures, > CO₂) qui ont suivi la chute de la grosse météorite sur le Yucatan provoquant la mort des dinosaures parmi les plus caractéristiques de la faune. Des changements dans la teneur en CO₂

Permien -255 Ma : 3^{ème} crise de la biodiversité, forte emprise des climats continentaux semi-arides



Jurassique - 195 Ma : 4^{ème} crise de la biodiversité, une France baignée par la mer



(fig. 4) Le contraste est saisissant entre le Permien avec son super continent (pangée) et le Jurassique qui voit la géographie moderne se mettre en place ; la pastille noire signale la position virtuelle de la France.

(?) ont même pu favoriser le groupe des plantes à fleurs qui sont surtout des végétaux à feuilles larges en comparaison avec la presque quasi-totalité des gymnospermes connues !

On sait à peu près sûrement aujourd'hui que des 5 extinctions majeures c'est la seule qui soit sûrement causée par un météore.

Cependant, des changements climatiques importants sont en cause très certainement. La dérive des continents en regroupant ou en dispersant les blocs continentaux a eu un rôle majeur, de même que la surrection des montagnes. Mais pour l'ensemble de la terre c'est la variation de la chimie de l'atmosphère que l'on doit plutôt prendre en compte.

Une hypothèse cosmique relie ces crises et leur périodicité d'environ 100 millions d'années à des « sursauts gammas » liés à l'explosion de supernovae. On a dénombré plus de 2500 sursauts gamma entre 1991 et 1999, répartis uniformément sur la voûte céleste. Ces flashes gamma sont des phénomènes qui ont lieu à des distances cosmologiques, jusqu'à plusieurs milliards d'années-lumière. Comme on les détecte malgré la distance énorme et qu'ils sont très brefs (quelques millisecondes à 15 minutes) ils dégagent forcément d'énormes quantités d'énergie sur de petits volumes.

Tous les 100 millions d'années la terre serait statistiquement sous le pinceau de ce rayon de la mort ! (il nous resterait environ 35 MA avant le prochain !).

Naturellement, si ces calculs sont justes, ils ne sont pas acceptés par tous, la principale objection est qu'ils sont basés sur un modèle de sursauts gammas et qu'il y en a d'autres ... mais qui ne « collent » pas aussi bien aux extinctions biologiques.

En conclusion :

On admet raisonnablement, que parmi les causes possibles de ces crises, c'est la baisse du niveau marin induisant des modifications paléogéographiques importantes. Les variations climatiques majeures sont impliquées dans 4 cas sur 5 de même que les variations de la salinité. Météorites et volcanisme sont suspectées dans chaque cas mais avéré dans 3 cas sur 5.

L'histoire des grandes crises géologiques montre

que des événements majeurs ont présidé à l'histoire de la biodiversité. Aujourd'hui, la biodiversité s'est incontestablement réduite mais cette réduction est normale rapportée à l'histoire de la terre. Malgré le réchauffement actuel qui se place à une toute petite échelle, nous nous dirigeons vers une glaciation dans plusieurs dizaines de milliers d'années. Un des aspects les plus pédagogiques de la grande crise du Permien c'est que finalement la restauration des faunes et des flores se fit à des rythmes excessivement lents, ce qui justifie la création aujourd'hui de banques de gènes, par exemple comme pour l'olivier à Porquerolles. Mais cela ne suffira pas évidemment.

Et si la Méditerranée s'asséchait ?

Avant la Méditerranée, une vaste mer, la Téthys, était ouverte sur l'océan Indien et l'Atlantique et englobait aussi Danube, mer Noire et mer Caspienne (fig. 5)

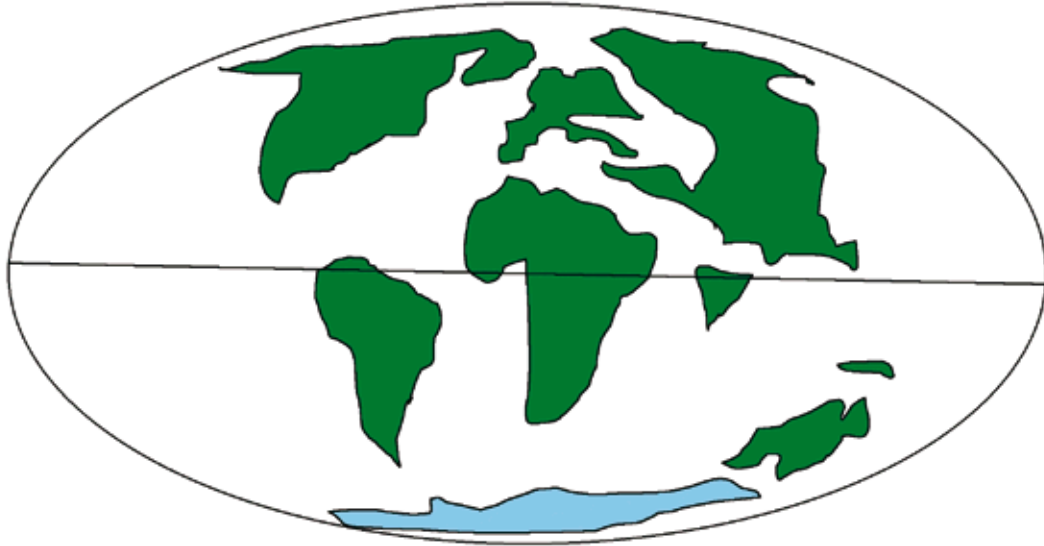
On a découvert que plus de 1 million de km³ de sels répartis sur plus de 2 millions de km², soit 5% des sels de l'océan mondial ont été piégés, à l'état solide, au fond de la Méditerranée⁹ : c'est la crise de salinité messinienne du nom de la région de Messine en Italie où ces couches affleurent. La couche de sel massif est localisée principalement au niveau des plaines abyssales, tandis que d'autres couches évaporitiques (principalement du gypse), s'étalent plus largement à la périphérie dans des régions aujourd'hui émergées.

Que s'est-il passé ? Cette transformation ne peut se produire que si les pertes d'eau dues à l'évaporation sont supérieures aux apports d'eau arrivant dans le bassin, qu'il s'agisse d'eau marine ou d'eau douce (fleuves, précipitations, ruissellement). Ceci implique l'isolement du bassin, c'est à dire, la restriction des échanges avec le réservoir océanique, et un climat caractérisé par un certain déficit hydrique.

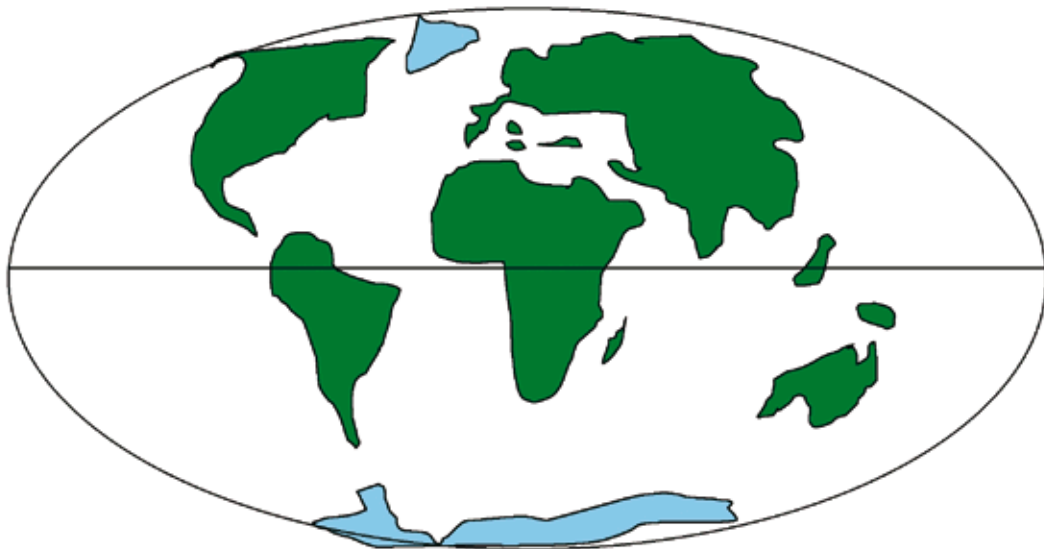
Les causes de l'évènement messinien sont à rechercher d'abord dans la formation de la Méditerranée qui est née de l'occlusion de la Téthys prise en tenaille par le mouvement relatif de la plaque africaine par rapport à la plaque eurasiatique il y a 14 Ma au Serravalien (Miocène moyen). Dès lors, les échanges de la Méditerranée

⁹ Rouchy J.M. (1982 , 1999)

Eocène – 50 Ma, après la 5^{ème} crise de la biodiversité, une Europe chaude et humide



Miocène -14 Ma, une France chaude et humide baignée par la future Méditerranée



(fig. 5) Après l'ouverture de l'Atlantique, c'est autour de la Méditerranée de se mettre en place, elle n'aura sa configuration actuelle qu'après le Miocène, les eaux chaudes de l'océan indien ne lui parvenant plus.

avec l'océan ne s'opéraient qu'avec l'Atlantique par des détroits qui traversaient des régions aujourd'hui localisées dans les chaînes bétique (Espagne) et rifaine (Maroc), et non par l'actuel détroit de Gibraltar qui n'était pas encore ouvert.

On peut dérouler le film de cette crise :

1) Vers – 6 Ma, les récifs coralliens cessent de se développer en Méditerranée, éliminés par l'accroissement de la salinité.

2) S'accumulent dans les parties plus profondes, des couches massives de halite (sels solubles de potassium, K et de magnésium Mg), atteignant 700 à 800 mètres d'épaisseur en Méditerranée occidentale et en Sicile, et peut-être plusieurs milliers de mètres en Méditerranée orientale. conditions alors proches de la dessiccation.

Le niveau de la Méditerranée s'est abaissé fortement en contrebas du niveau océanique mondial, avec à certains moments, un dénivelé de plusieurs centaines de mètres, voire même un millier de mètres.

3) Alternance de phases de remplissage marin par l'Atlantique suivies d'un isolement, puis à la dessiccation temporaire, avant un nouvel épisode de remplissage.

4) Le lac-mer est la conséquence autour de 5.4 Ma et pendant seulement 100 à 200 000 ans d'une fermeture encore plus sévère de la Méditerranée, avec la généralisation de milieux faiblement salés ou d'eau douce.

5) L'invasion de la mer¹⁰.

La fin des temps chauds?

On date les premières traces de glaciation de -14 Ma mais c'est dans l'Antarctique qu'elle se passe, suite au positionnement de ce continent sur le pôle sud. Dans l'hémisphère nord, le climat va se refroidir au Pliocène surtout à partir de -3,1 Ma, peut-être en conséquence de la modification des circulations atmosphériques avec la surrection de l'Himalaya notamment. Mais c'est au Quaternaire qui débute il y a environ 1,5 Ma que la glaciation va s'installer. Autrefois, on mentionnait quatre grandes glaciations

grâce à l'enregistrement géomorphologique laissé par les anciennes moraines : Gunz, Mindel, Riss et Würm. Cette division quadripartite est abandonnée depuis un certain temps car l'on a pu enregistrer directement les paléo températures grâce au rapport des isotopes de l'oxygène (O18/O16) agissant comme des « paléo thermomètres ».

On a dénombré ainsi plus d'une vingtaine de phases alternativement froides ou tempérées de périodicité de l'ordre de 100 000 ans : étages isotopiques.

Cette périodicité relativement régulière est dépendante de la position de la Terre sur son orbite : excentricité par rapport au soleil qui varie de 0 à 6% avec une période de 100 000 ans, inclinaison de l'axe terrestre ou obliquité qui varie de 22 à 24° sur une période de 41 000 ans et la précession : la date des équinoxes retarde un peu chaque année, ce retard bouclant un cycle en 22 000 ans. Enfin, à l'échelle historique ou millénaire, on a remarqué des correspondances entre l'activité solaire – mesurée par le nombre de taches – et les grandes variations historiques du climat depuis le Moyen âge à nos jours¹¹.

Par exemple, on connaît bien les conditions climatiques du dernier pléniglaciaire , étage isotopique 3, il y a environ 20 000 ans :

- À cette époque, l'Europe du Nord et l'Amérique du Nord étaient recouvertes de glaciers ou inlandsis de 2 à 3 km d'épaisseur (50 millions de kilomètres cubes de glace de plus qu'à l'heure actuelle).
- Ils s'étendaient jusqu'au Nord de l'Allemagne, des Pays-Bas et de la Grande-Bretagne et atteignaient New York.
- Le niveau des océans était plus bas de 120 m et l'air à la surface de la Terre plus froid de 5 °C en moyenne globale.
- La concentration en CO2 dans l'atmosphère avoisinait 180 ppmv¹², alors qu'au début de la révolution industrielle elle était de 280 ppmv, une valeur typique des interglaciaires.
- Rappelons que cette concentration a atteint 376 ppmv en 2004. Elle a donc augmenté de 96 ppmv en environ 200 ans¹³.

¹⁰ Jules Verne parle bien de « L'invasion de la mer » mais il ne connaissait pas l'échelle de l'évènement messinien puisque, dans le roman, c'est le seul chott El Djerid qui va être envahi, dans le sud tunisien.

¹¹ Sadourny R. 1994 , Schakleton NJ., Imbrie J. et Pisias NG. 1988, Vernet J.-L. 1997.

¹² 180 ppmv = 180 parties par million en volume, soit 0,0180 % des gaz atmosphériques totaux.

¹³ A. Berger : C. R. Palevol 5 (2006), pp 21–26.

Il y a 18 à 20 000 ans, la forêt pré steppique méditerranéenne est une formation arborée claire composée de plusieurs pins : pins noirs, pins sylvestres, des genévriers et de petits ligneux thermophiles.

En période glaciaire, la glace accumulée sur les continents nordiques finissait par se diriger vers la mer et lors de ces crues des icebergs se formaient emportant avec eux des blocs et graviers (moraines). On retrouve et on date ces graviers déposés ensuite sur le fond de l'océan. Ces débâcles sont appelées événements de Heinrich. Ils ont eu une grande influence sur les températures de l'océan et donc des continents.

Autres refroidissements liés aux débâcles glaciaires, les oscillations de Dansgaard-Oeschger seraient liées aux déplacements du front polaire et aux modifications de la circulation océanique. Cette origine est discutée.

Beaucoup d'animaux ont disparu au Pléistocène : le smilodon ou tigre aux dents de sabre, le mammoth. Le calendrier des extinctions varie avec les lieux, par exemple pour les grands mammifères. Cette sélectivité révèle des disparités sans doute en rapport avec une plus ou moins grande sensibilité aux maladies, à comparer peut-être avec la fin des Néandertaliens ?

La crise néandertalienne

L'homme de Néandertal habitait nos régions depuis l'avant-dernière glaciation au moins, soit depuis plus de 120 000 ans. Il disparaît il y a environ 30 000 ans.

L'homme moderne est bien différent du Néandertalien (front proéminent, mâchoires puissantes, menton effacé). Mais, coiffé, bien rasé, avec une chemise et une cravate, en est-on si sûr ? La génétique confirme une parenté certaine. Trois mutations affectent l'ADN néandertalien par rapport au nôtre. On note des particularités locales (isolement géographique ?)

Le feu, connu depuis 400 000 ans faisait partie du quotidien des Moustériens. Sur la Causse du Larzac, aux Canalettes, les Moustériens connaissaient même le combustible fossile qu'est le lignite (conservation du feu ?)¹⁴. Une industrie très caractéristique est

connue des seuls Néandertaliens, le Moustérien, si bien que certains préhistoriens n'hésitent pas sur la relation Moustérien >< Néandertal.

La fin des Néandertaliens

L'Homme moderne est aujourd'hui le seul représentant du genre humain, mais il y a 30 000 ans, il coexistait avec l'Homme de Néandertal. Ainsi on a découvert l'homme moderne à Oase il y a 34 à 36 000 ans¹⁵.

Que s'est-il passé : génocide, hybridation, inadaptation climatique ou sociale ?

Un climat relativement tempéré (70 à 100 000 ans) a d'abord fait la transition avec le dernier interglaciaire (120 000 ans) avec des températures moyennes à peine 5° plus basses qu'aujourd'hui. Puis, les conditions bioclimatiques commencent à se modifier avec de forts « Heinrich » et se refroidissent brutalement il y a à peu près 30 000 ans.

La calotte glaciaire va peu à peu s'étendre plus au sud, et les populations humaines, les Néandertaliens comme les Hommes modernes, migrent vers le sud. Dix mille ans plus tard (il y a 20 000 ans), ce sera même la moitié de l'Europe qui sera sous les glaces. L'Homme de Néandertal aurait disparu car il n'aurait pas su s'adapter au climat. Pourtant, ce ne serait pas le climat qui aurait été *directement* fatal aux Néandertaliens, mais leur dépendance vis-à-vis de grands herbivores sédentaires tels que le mammoth, le bison, et le cerf élaphe.

Lors de la disparition des Néandertaliens ce sont les hommes modernes, les Aurignaciens qui sont présents mais leur mode de vie restait très proche, ils semblaient cependant moins dépendants des grands mammifères et pouvaient s'adonner à d'autres quêtes de subsistance comme la pêche par exemple.

Les Aurignaciens auraient peint Chauvet il y a 30 000 ans soit 15 000 ans avant Lascaux ! Chauvet est la plus ancienne grotte ornée au monde et elle témoigne d'emblée d'un art en pleine possession de ses moyens, ce qui peut poser problème en termes de progrès. Plus surprenant encore: elle est de peu postérieure à l'arrivée de l'homme moderne en Europe, et elle aurait été décorée à une époque où il coexistait encore avec les Néandertaliens. Mais

¹⁴ Théry *et al.*, 1995

¹⁵ Trinkaus *et al.*, 2003

a-t-on daté les peintures qui par certains aspects paraissent plus modernes que celles de Lascaux peintes pourtant 15 000 plus tard ? Non, il faut insister là-dessus, on ne peut pas dater directement des peintures rupestres, car le dessin ou la peinture n'ont rien à voir avec l'outil qui les crée. On a seulement daté les charbons¹⁶.

On fait remarquer aussi la complexité de la transition du Moustérien à l'Aurignacien depuis le N de la péninsule Ibérique jusqu'au sud avec un possible métissage au nord, moins ou pas du tout au sud¹⁷.

Il y a environ 35 000 ans apparurent leurs successeurs, un autre groupe d'Hommes modernes : les Gravettiens, venus d'Asie centrale ou des plaines d'Allemagne et Pologne. Ils auraient survécu aux bouleversements climatiques grâce à une technologie supérieure (armes et outils plus légers), à une organisation sociale plus complexe, en groupes familiaux unis et suffisamment structurés pour suivre les troupeaux nomades, et à une meilleure utilisation des ressources permettant de passer d'un mode de vie plus sédentaire à celui engendré par le refroidissement climatique.

Les Gravettiens ont supplanté les Aurignaciens dans plusieurs régions d'Europe il y a environ 33 000 ans.

La grotte de Vindija en Croatie vient de nous fournir la plus jeune et la plus sûre datation pour des restes néandertaliens en Europe centre-orientale, soit -28 000 à -29 000 ans. En outre, les restes osseux ont été trouvés en association avec du lithique Paléolithique supérieur¹⁸!

La disparition de Néandertal de même que son degré de parenté avec nous restent inexplicables.

Cependant :

1. L'apparition de notre espèce dans l'aire néandertalienne semble bien être la caractéristique majeure des événements d'il y a 30 000 ans.

2. Le changement climatique a-t-il été si intense et répétitif qu'il a pu être décisif ?

3. Un refroidissement presque aussi important a existé il y a 70 000 ans. Fut-il insuffisant pour éteindre Néandertal ? Un climat semblable à celui de -30 000 ans baignait pourtant l'Europe il y a 130 000 ans : les Néandertaliens apparus à ce moment ont survécu sans problème à cette période.

4. Ce qui nous renvoie au problème de l'hybridation voire de la guerre.

5. Une si longue persistance dans le temps des populations néandertaliennes souligne aussi la qualité de leur technologie et de leur civilisation¹⁹.

Le réchauffement actuel à l'échelle des dix derniers millénaires

Rappel : Si nous partons du dernier maximum glaciaire il y a 20 000 ans : température moyenne annuelle inférieure de 4,5°C par rapport à la période pré-industrielle. La température de surface de l'océan tropical <1°,7, celle du continent <2,6°C.

Les modèles montrent qu'environ la moitié du refroidissement s'explique par la réduction de la teneur en CO₂ de l'atmosphère de l'époque.

A la mi-Holocène vers -6000 ans, la température est pratiquement la même qu'en période pré-industrielle (<0,1°C). L'Holocène montre des tendances à long terme et une variabilité millénaire d'amplitudes très mineures par rapport à celles qui prévalaient durant le dernier glaciaire.

La chronologie de l'optimum thermique holocène est variable sur le globe. Elle a apparemment un patron sud-nord, les latitudes australes ayant un optimum thermique plusieurs millénaires avant les régions de l'hémisphère nord²⁰.

¹⁶ En toute objectivité une autre hypothèse devrait être testée : un groupe humain postérieur (de combien ?) aurait pu trouver un lot de charbons et s'en servir comme fusains pour dessiner. Une étude poussée des charbons de bois, étudiant la provenance pourrait être tentée au moyen de différents traceurs isotopiques. Mais les méthodes ne sont pas très au point. Par conséquent, sans être un faux, rien n'exclut que Chauvet puisse être beaucoup plus récent, peut-être plus proche de l'âge de Lascaux.

¹⁷ Finlayson, et Carrion

¹⁸ Jankovic I. et al. (2006) Vindija cave and The modern human peopling of Europe. *Coll Antrop.*, 30, 3 : 457-466.

¹⁹ P.-Y. Demars et J.-P. Bocquet-Appel (2000) : « Neandertal contraction and Modern human colonization of Europe » *Antiquity* 74 : 544-552.

T.H. van Andel & W.D. Davies (editors). *Neanderthals and Modern Humans in the European Landscape of the Last Glaciation -Archaeological Results of the Stage 3 Project.* The McDonald Institute for Archaeological Research Monographs, Cambridge, 2003.

Trinkaus E. et al. (2003): «An early modern human from the Pesterța cu Oase, Romania. *PNAS*, 100 : 11231-11236.

²⁰ Intergovernmental panel on climate change (IPCC ou GIEC en français).

Remarquez que l'Holocène est caractérisé par une variabilité à l'échelle du millénaire du même ordre que la circulation thermo haline²¹.

On notera le refroidissement très intense entre 12000 et 12500 (Dryas récent) conséquence de l'interruption de la circulation thermo haline dans l'Atlantique nord, elle-même liée à la fonte brutale de glaces continentales (icebergs). Le dernier événement de ce type semble s'être produit il y a 8200 ans avec des conséquences assez variables.

Le réchauffement actuel à l'échelle du millénaire

Au cours des derniers 3500 ans plusieurs épisodes climatiques majeurs ont été enregistrés par les glaciers alpins²².

Les glaciers alpins

Le maximum des glaciers alpins se situe entre 1300 et 1400 av J.-C. , le front des glaciers atteint à ce moment là sa plus grande extension depuis le dernier maximum glaciaire d'il y a 18 000 ans.

Un autre maximum glaciaire se place entre 900 et 300 av J.-C. il correspond à plusieurs avancées, chacune durant deux ou trois siècles, séparées par un retrait pouvant atteindre un siècle et demi. Cela correspond à la période dite du Subatlantique classée par les palynologues comme plutôt humide.

L'époque romaine est marquée par un retrait des glaciers alpins

A partir de 400 AD²³ jusque vers 750 AD survient un nouveau maximum glaciaire, puis un bref retrait vers 1200-1300

Enfin, un très grand épisode d'avancée des glaces entre 1550 et 1850 suivi d'un premier retrait et d'une nouvelle poussée glaciaire dont la fin est à situer au XX ième siècle dans les années 1940 (Le Roy Ladurie). C'est le Petit âge glaciaire.

Société et climat

On distinguera une première période ou *optimum*

climatique médiéval (fig. 6) qui va de 800 AD à l'an 1200 et qui est bien connue par le début de l'expansion Viking et un certain nombre de faits historiques.

A partir de 1200 et jusque vers 1500 se place un épisode de trois siècles encore appelé *glaciation médiévale*. Il est marqué par des épisodes de sécheresse importants entraînant la fin de la culture Anasazi au sud-ouest des USA, le déclin et la disparition des vignobles d'Angleterre.

La poussée des glaciers est nette dès l'hiver 1303. Avec ces épisodes frais, les étés sont humides « pourris », déclenchant de grosses famines liées aux très mauvaises récoltes. A l'époque de Jeanne d'Arc, on dénombre plusieurs années avec des étés chauds, des vendanges précoces. Les mois de février à août 1420 furent de 2 à 3°C plus chauds que l'actuel. Au XVI ème siècle entre 1500 et 1560 c'est une brève *période de réchauffement*, les glaciers alpins reculent un peu et les saisons sont peu contrastées.

Puis la météo devient défavorable. A partir de 1560 les températures chutent avec une moyenne européenne de -0°,6 en été comme pour les autres saisons. Les glaciers avancent, on entre dans le *Petit âge glaciaire*. A Chamonix, vers la fin du XVIème siècle, la Mer de Glace en avançant, détruit des habitations et des localités. Le phénomène est général dans les Alpes suisses notamment avec des menaces sur les constructions humaines. De 1560 à 1609, les vendanges sont retardées car printemps et étés sont « pourris ».

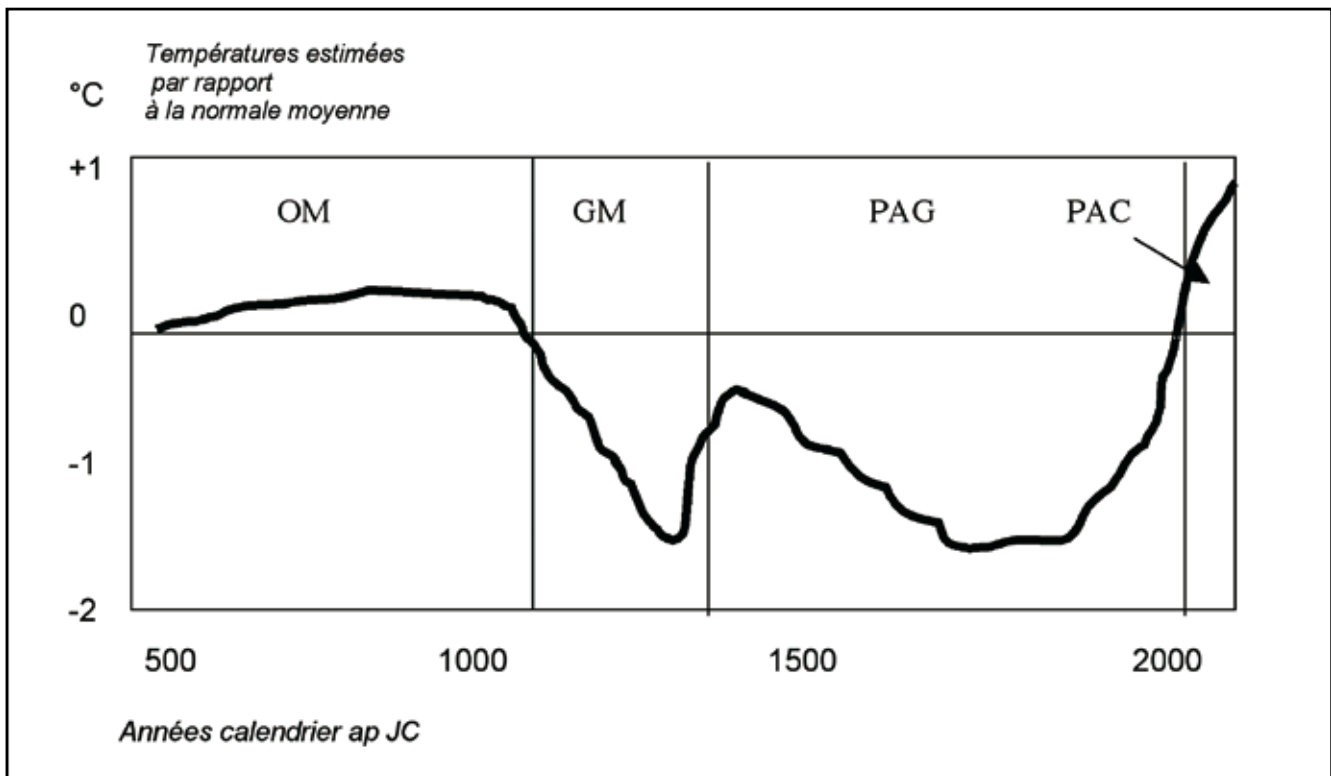
En outre, la crise de subsistance qui en découle est aggravée par la guerre religieuse. D'où un complexe « climat-famine- peste-guerre » selon l'expression de Le Roy Ladurie qui rend très dure la période. La décennie 1590 se présente finalement comme une suite d'années presque toutes très froides. L'hiver 1597 est très neigeux, ce qui va profiter aux glaciers alpins en pleine offensive.

Le XVIIème siècle est marqué aussi à ses débuts par de grands froids : les glaces encerclent l'Islande. Les glaciers alpins atteignent leur maximum de l'histoire alpine vers 1600-1610. On a même

²¹ Il s'agit d'un grand cycle des eaux tropicales qui en se refroidissant aux hautes latitudes plongent dans l'océan pour gagner l'hémisphère sud puis revenir réchauffées après une grande boucle.

²² Le Roy Ladurie, 1971, 2005.

²³ AD, de notre ère.



(fig. 6) Estimation très schématique des fluctuations de températures depuis l'an 500 de notre ère, OM : optimum médiéval, GM : glaciation médiévale, PAG : Petit âge glaciaire, PAC : Petit âge chaudière ou réchauffement actuel (en partie d'après Le Roy Ladurie 1971)

recours à la bénédiction épiscopale pour faire reculer la menace ! Quelques années de répit succèdent à cette période, puis 1621 marque un changement avec des printemps frais des étés frais et des vendanges retardées. Des années pluvieuses vont marquer la décennie 1620-1630. En 1648, éclate la Fronde dans un contexte météorologique frais et des étés « pourris », entraînant en même temps une diminution de l'approvisionnement en blé et une hausse des prix, avec pour conséquence le mécontentement populaire.

La période 1645-1715 ou règne de Louis XIV, est une période au cours de laquelle Cassini dans le nouvel observatoire créé à Paris observe une absence totale de taches solaires (minimum de Maunder)²⁴.

Le minimum de Maunder coïncide avec un refroidissement hivernal marqué et parfois des étés frais !

Le XVIII^{ème} siècle sera meilleur que le XVII^{ème} sans atteindre les valeurs du XX^{ème} siècle. Les glaciers alpins reculent un peu. Plusieurs années

de canicule sont même enregistrées, entre 1704 et 1779. Les prémices de la Révolution sont, météorologiquement parlant, marqués par des années fraîches et pourries dans la décennie 1770. Ceci retentit bien sûr sur les récoltes de blé qui sont médiocres, les prix élevés. Vers 1788, on a au contraire des étés très chauds, des orages dévastateurs d'où de mauvaises récoltes. Les émeutes sont donc aggravées par le manque de nourriture ou sa cherté. Le soulèvement populaire du 14 juillet 1789 est qualifié de « politico-substantiel » par Le Roy Ladurie. A partir de 1812 le Petit âge glaciaire revient avec une nouvelle poussée des glaciers alpins, des tempêtes accrues, l'expansion des glaces arctiques et, pour couronner le tout, l'explosion d'avril 1815 du volcan Tambora en Indonésie envoyant dans la haute atmosphère des gaz et des particules de poussière brouillant le ciel jusqu'à la latitude de Londres. La température aurait baissé en moyenne d'un demi degré sur l'Europe et l'Amérique. Des disettes éclatent un peu partout en France et puis les choses vont s'améliorer progressivement. 1846 connaît l'un des douze étés

²⁴ Aujourd'hui on entame le 24^{ème} cycle d'environ 11 ans marqué par l'apparition puis la disparition des taches solaires. Au cours du minimum de Maunder on ne s'explique pas la durée prolongée de cette absence d'activité du soleil.

les plus chauds des 500 dernières années. Après une longue période de fluctuations, les premiers signes de retrait des glaciers se repèrent vers 1830 et s'amplifieront vers 1870.

Le XX^{ème} siècle est caractérisé au moins au début par sa variabilité météorologique. Dans les années 1905, les étés sont beaux et occasionnent la crise de surproduction viticole de 1907 suivie de la révolte des vigneron dont on célèbre le centenaire de nos jours. Mais ce n'est que vers 1920-1930 que les glaciers déclinent partout dans le Monde sauf en Antarctique. La décennie 1940 va connaître des étés chauds et secs. C'est la fin du Petit âge glaciaire.

Cependant, quelques récurrences froides surviennent encore, avec les hivers 1956²⁵ et 1963 notamment.

Depuis, le réchauffement est bien installé et la douceur des hivers est remarquée : voilà une chance dans la morosité écologique actuelle, profitons plutôt de ce qui nous arrive !

La crise de la ganterie à Millau

Le Roy Ladurie montre combien il est difficile de séparer le « signal climat » des événements de l'histoire de l'homme. Un exemple supplémentaire nous est fourni par le développement et le déclin de l'industrie du gant à Millau.

Les gants tout en étant des objets de luxe, servent naturellement de protection contre le froid²⁶. L'histoire de la ville de Millau est dépendante depuis le Moyen âge de l'activité des tanneries, mégisseries, ganteries, toutes activités destinées à produire des peaux et des gants. Les premières mégisseries sont mentionnées dès le XII^{ème} siècle (1193) et c'est l'élevage des brebis sur le causse proche qui fournit la matière première.

L'essor de la ganterie est caractérisé au XVIII^{ème} siècle (150 000 brebis sont élevées sur le seul Larzac à cette époque) avec l'amélioration des moyens de transport mais aussi l'effet de mode du gant qui devient un objet de luxe.

En 1800 c'est l'apogée avec 60 tanneries et 2000 ouvriers gantiers sur 6000 habitants. L'activité gantière va dominer faisant vivre la presque totalité

de la population de Millau au début du XX^{ème} siècle. Ganteries et surtout mégisseries fortement dépendantes de la ressource en eau s'installent à proximité du Tarn.

Millau détrône même Grenoble pour le titre honorifique de « capitale de la ganterie » avant la guerre de 1939-45. Il est évident qu'une telle « mono » industrie est très fragile. Elle ne peut pourtant surmonter la crise économique importante de 1935. Cependant, dans les années 1960, dès l'instant où les peaux importées d'Australie n'étaient guère plus chères sinon moins chères que la production locale alourdie elle d'un coût de main d'œuvre important, la ganterie ne pouvait que décliner.

Il y a encore 80 gantiers et 6000 emplois dans les années 1960 mais, très vite, à partir des années 1965 la chute s'accélère sous l'influence de la mondialisation, de la mode, du synthétique et sans doute aussi du climat, les hivers perdant de leur rudesse.

En 2007, il reste encore quatre fabricants gantiers dans une ville dont la démographie stagne et qui peine à faire sa reconversion, souffrant toujours d'un relatif isolement géographique, que pourrait pallier le passage de l'autoroute A75 et de son viaduc. Mais il est trop tôt pour en ressentir les effets, si effets il doit y avoir, alors que, économie oblige, beaucoup de services publics sont menacés de disparition.

Bien sûr, le paramètre climatique ne peut à lui tout seul, comme pour les événements de l'histoire de France rapportés plus haut, expliquer la crise de la ganterie millavoise mais il a sans doute joué son rôle, alors le gant de Millau emblème du Petit âge glaciaire ?

Le réchauffement climatique²⁷

Le réchauffement est une réalité parfaitement lisible tant au niveau du recul des glaciers que des anomalies de températures (fig 7 et 8).

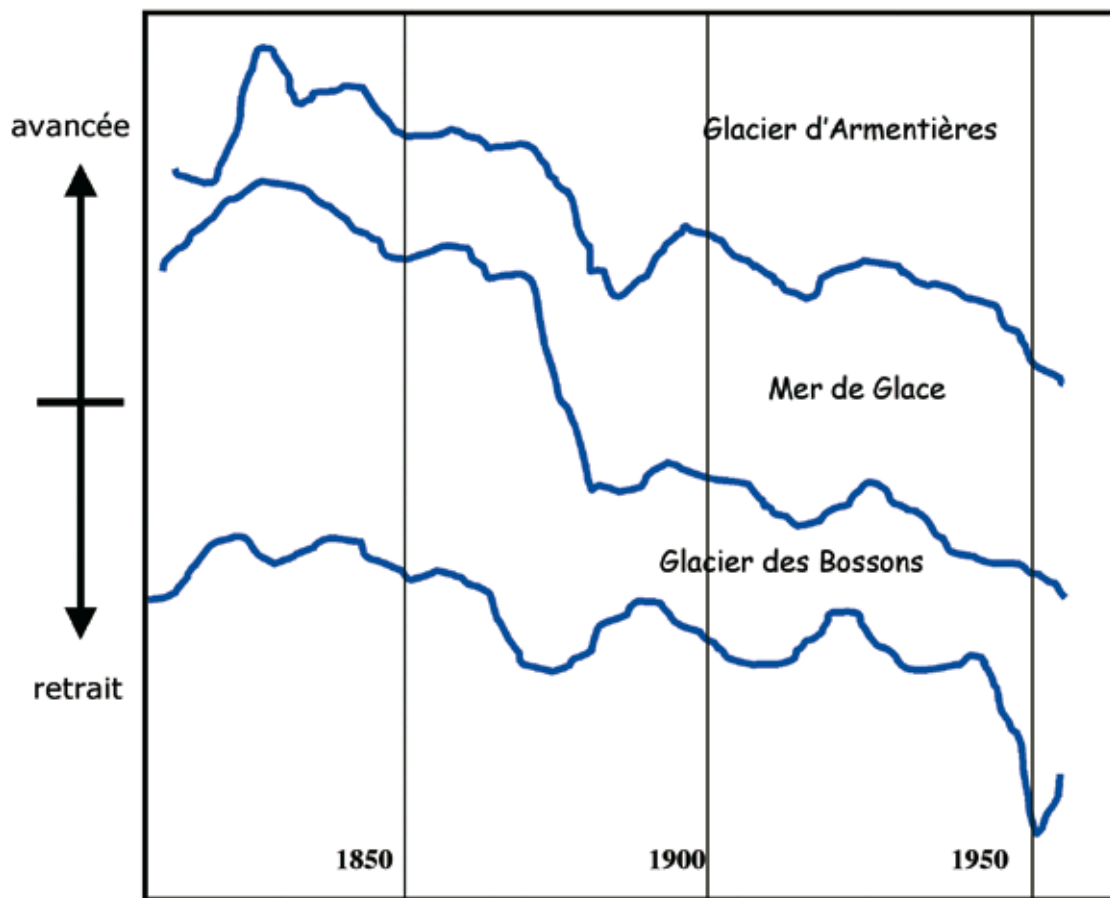
La grande presse nous promet des catastrophes telles que les suivantes :

- Une recrudescence des feux de forêts ? C'est le cas dans l'Hérault mais pas dans le Gard sur la période 1973-2005 ou c'est tout le contraire !

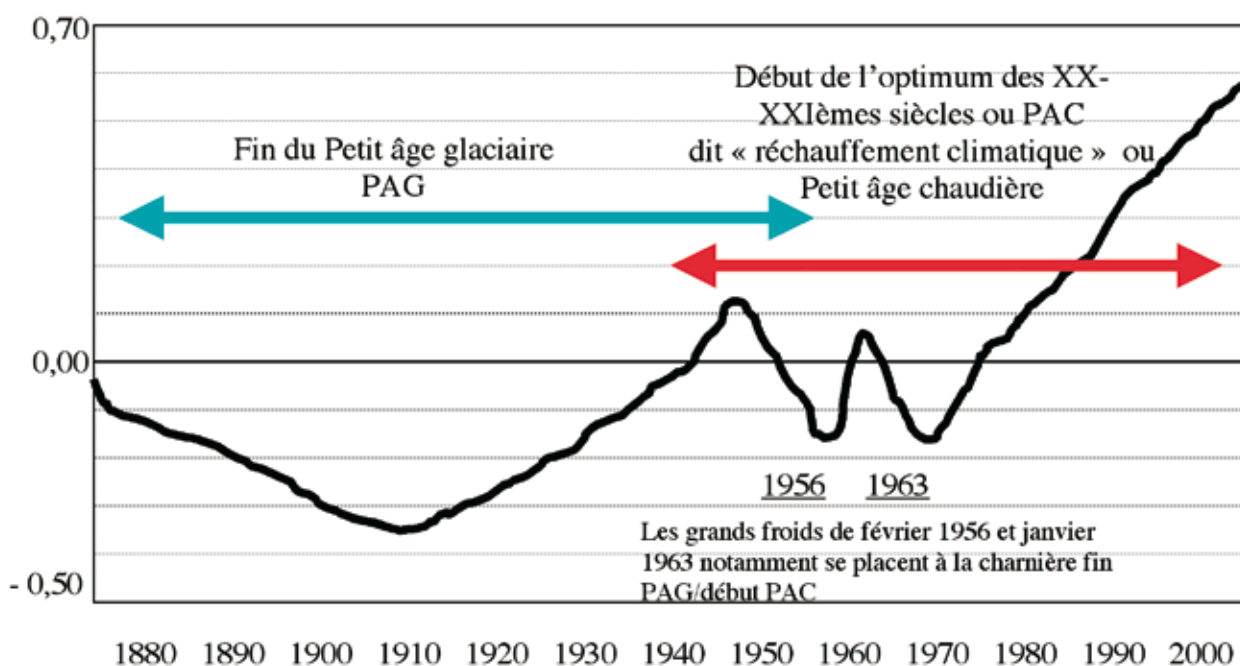
²⁵ En février 1956, le thermomètre est descendu à presque -30°C à St Martin de Londres à quelques kilomètres de Montpellier.

²⁶ Albert Jonquet : Histoire de l'industrie de la peau et du gant à Millau à travers les siècles, 1970, 16 p., Artières et Maury édit. Millau. Voir aussi le dossier de presse : www.ot-millau.fr/fr/espace_presse/dossier_presse.htm

²⁷ appelé parfois Le Petit âge chaudière ou optimum thermique des XXe-XXIe siècles.



(fig. 7) Le retrait séculaire des grands glaciers de Chamonix (d'après Liboutry in Le Roy Ladurie 1971)



(fig. 8) Anomalies annuelles des températures de 1880 à 2005 soulignant la transition Petit âge glaciaire/ Optimum actuel : écarts de températures par rapport à la moyenne 1961-1990, les grands froids de février 1956 et janvier 1963 ont été soulignés (d'après Météo France).

- Des sécheresses comme en 2003 ?

L'été 2003 résulte d'une situation anticyclonique exceptionnelle et ses caractéristiques ont montré aux modélisateurs qu'il était totalement imprévisible sur la base des modèles actuels qui nous prédisent des horreurs pour 2050.

- Des tempêtes comme à Noël 1999 ? Une situation météorologique exceptionnelle, le 26 décembre 1999 liée à la « queue » d'un double ouragan tropical : Lothar/Martin. Des vitesses de vents exceptionnelles, jusqu'à 173 km/h ont été mesurées et de très gros dégâts dans les massifs forestiers, la région méditerranéenne ayant été épargnée.

La cause de tous ces malheurs serait l'effet de serre additionnel²⁸ induit par le CO₂ et d'autres gaz comme l'oxyde nitreux sans oublier la vapeur d'eau.

Les gaz de l'atmosphère et leur importance relative

Il est vrai que la concentration du CO₂ dans l'atmosphère depuis l'an 1000 a considérablement augmenté. Rappelons la composition de l'atmosphère :

Composition de l'atmosphère

98,04 % de :

Azote (N) : 76,47 % - Oxygène (O) : 19,61

% - Argon (A) : 1,96 %

Néon (Ne) : 0,0018 % (18 ppm)** - Hélium

(He) : 0,0005 % (5 ppm)

et moins de 2 % de gaz à effet de serre :

Surtout de la vapeur d'eau en quantité

variable, pratiquement la moitié, 0,96 %

(9600 ppm)

les 1% qui restent :

CO₂ : environ 0,0360 % (360 ppm) - Ox

nitreux, N₂O : 0,0310 % (310 ppm)

Ozone, O₃ : 0,0002 % (2 ppm) - Méthane,

CH₄ : 0,00018 % (1,8 ppm)

Chlorofluorocarbones CFC : 0,00000003 %

(0,003 ppm)

** 0,0001% = 1 partie par million (ppm)

La concentration de CO₂ dans l'atmosphère a varié pendant les derniers 400 000 ans :

300 ppm pour les 4 derniers interglaciaires, contre 360 ppm aujourd'hui²⁹.

Les 60 ppm supplémentaires actuels, soit 0,0060 % de plus, seraient de la responsabilité de l'homme et contribueraient au réchauffement climatique.

CO₂ : 280 ppm en 1750 contre 360 ppm aujourd'hui ; N₂O oxyde nitreux : 285 ppm en 1750 contre 310 ppm aujourd'hui ; CH₄ méthane : 0,800 ppm en 1750 contre 1,8 ppm aujourd'hui ; CFC chlorofluorocarbone : de 0 en 1950 à 0,003 ppm. Mais, à une échelle plus vaste encore, l'échelle géologique, comment cette concentration en CO₂ a-t-elle varié ?

Histoire de la concentration en CO₂

A l'échelle géologique la concentration en CO₂ de l'atmosphère est sous la dépendance du cycle du carbone. Le volcanisme, notamment le long des dorsales océaniques ainsi que par les éruptions continentales, injecte du CO₂ dans le grand réservoir océan-atmosphère.

Le flux global actuel est d'environ 6 suivi de 12 zéros molécules par an. La plupart du CO₂ dégazé est recyclé. Le taux de dégazage est considéré comme proportionnel à l'activité volcanique. Bien sûr, tout ceci est modulé par les fluctuations du niveau marin et la production volcanique provenant du manteau. D'autre part, le CO₂ est repris dans l'atmosphère par les processus chimiques de carbonatation et les silicates notamment. Les rivières transportent calcium et bicarbonate jusqu'à la mer.

L'érosion (*weathering*) des carbonates n'a pas d'effet sur la concentration en CO₂ car elle se fait à bilan nul (1 molécule de CO₂ disparaît par *weathering* et une autre est dégazée par précipitation des carbonates. Pour les silicates c'est 2 pour 1, donc il y a un effet certain.

Finalement la concentration en CO₂ est influencée par le cycle de la matière organique. L'enfouissement de la matière organique végétale dans les sédiments résulte d'un excédent de photosynthèse et se comporte en puits de CO₂. Inversement, l'oxydation de la matière organique

²⁸ L'effet de serre est primordial à la vie sur Terre. Sans l'effet de serre, notre planète aurait une température moyenne de -18°C au lieu de 15°C. Ce sont des gaz qui laissent passer la lumière (ondes courtes) qui vient du Soleil vers la Terre mais qui piègent le rayonnement infrarouge (les ondes longues). C'est l'effet véranda.

²⁹ Petit JR, Jouzel J et al. : Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core in Antarctica, Nature, 399, 1999 ; pp 429-436

des sédiments anciens relargue du CO₂ dans le réservoir atmosphérique. La balance entre source et puits de Carbone affecte les fluctuations à long terme de la concentration en CO₂ et donc l'intensité de l'effet de serre.

Il y a des incertitudes sur la concentration de CO₂ et son évolution dans le temps car de nombreux paramètres restent inconnus. On estime que le dégazage le plus important de CO₂ dans l'atmosphère a eu lieu durant le Crétacé moyen en réponse aux avancées marines et le plus bas pendant la mi-Cénozoïque.

Lorsque la Terre s'est formée, il y a 4,55 milliards d'années, la quantité estimée de CO₂ variait entre 30 et 60 atmosphères de CO₂ soit 100 000 fois la quantité actuelle.

Beaucoup plus tard (fig. 9), il y a 600 à 500 Ma, la concentration ou R CO₂ est de 15 à 17, soit environ 6200 ppmv, environ 0,62 % des gaz atmosphériques. Jusque vers – 400 Ma la vie est essentiellement marine.

Les premières forêts datent du Dévonien moyen et à – 300 Ma se développe la forêt houillère. Noter que cette forêt a fonctionné comme un véritable puits de carbone, la teneur en CO₂ de l'atmosphère étant tombée aux valeurs proches des actuelles. La concentration en CO₂ remontera ensuite pour atteindre environ X5 les valeurs actuelles entre 250 et 150 millions d'années, au cours du Mésozoïque. Depuis un peu plus de 150 millions d'années, elle ne cesse de décroître, hormis le sursaut actuel mais qui n'est pas dans les mêmes proportions quoi qu'on dise de l'influence humaine.

La mesure précise de l'activité volcanique reste incertaine. La production de CO₂ par la croûte océanique était particulièrement élevée pendant l'Aptien. Cependant, la période la plus chaude a eu lieu au Crétacé moyen pendant 20 Ma après le plus fort dégazage de CO₂.

Des simulations du climat au Crétacé moyen tenant compte d'une élévation de la concentration en CO₂ suggèrent que les plus basses latitudes étaient soumises à un réchauffement. Aux hautes latitudes, la concentration élevée de CO₂ associée

à un transport de chaleur par l'océan conduisit à un climat tempéré chaud.

Récemment, on a montré que la température de surface de la mer au cours du Cénomanién a pu atteindre des températures de 33°C. La surrection de chaînes de montagnes comme l'Himalaya, suivie d'une très forte érosion par les agents atmosphériques piégeant les carbonates et les enfouissant dans des milieux où ils restent inertes a fortement influencé le refroidissement généralisé de la fin du Cénozoïque dans l'hémisphère nord et la glaciation qui en a résulté.

Le CO₂ est aussi consommé par l'érosion des roches volcaniques. Il est donc vraisemblable que l'emplacement des grandes zones basaltiques ait été responsable des grands remaniements géochimiques et de changements climatiques. Mais l'on sait aussi que les épanchements basaltiques du Deccan ont provoqué à la limite Crétacé tertiaire l'accroissement du CO₂ d'environ 1000 ppm provoquant un réchauffement brutal de 4°C environ³⁰.

A la suite de cet épisode de réchauffement, la concentration en CO₂ de l'atmosphère baissa pour atteindre des valeurs inférieures d'environ 50 ppm et les températures baissèrent de 0,5°C environ.

Il est donc maintenant avéré que les grands changements de la concentration en CO₂ au cours des temps géologiques ont eu un rôle essentiel dans les changements climatiques même si l'évolution à long terme du CO₂ est encore mal connue³¹.

On ajoutera que l'activité solaire représente une composante naturelle du changement bien visible à l'échelle de l'histoire humaine et qui est bien corrélée avec les anomalies thermiques et la dérive glaciaire des XIX et XX siècles³² (fig 10.)

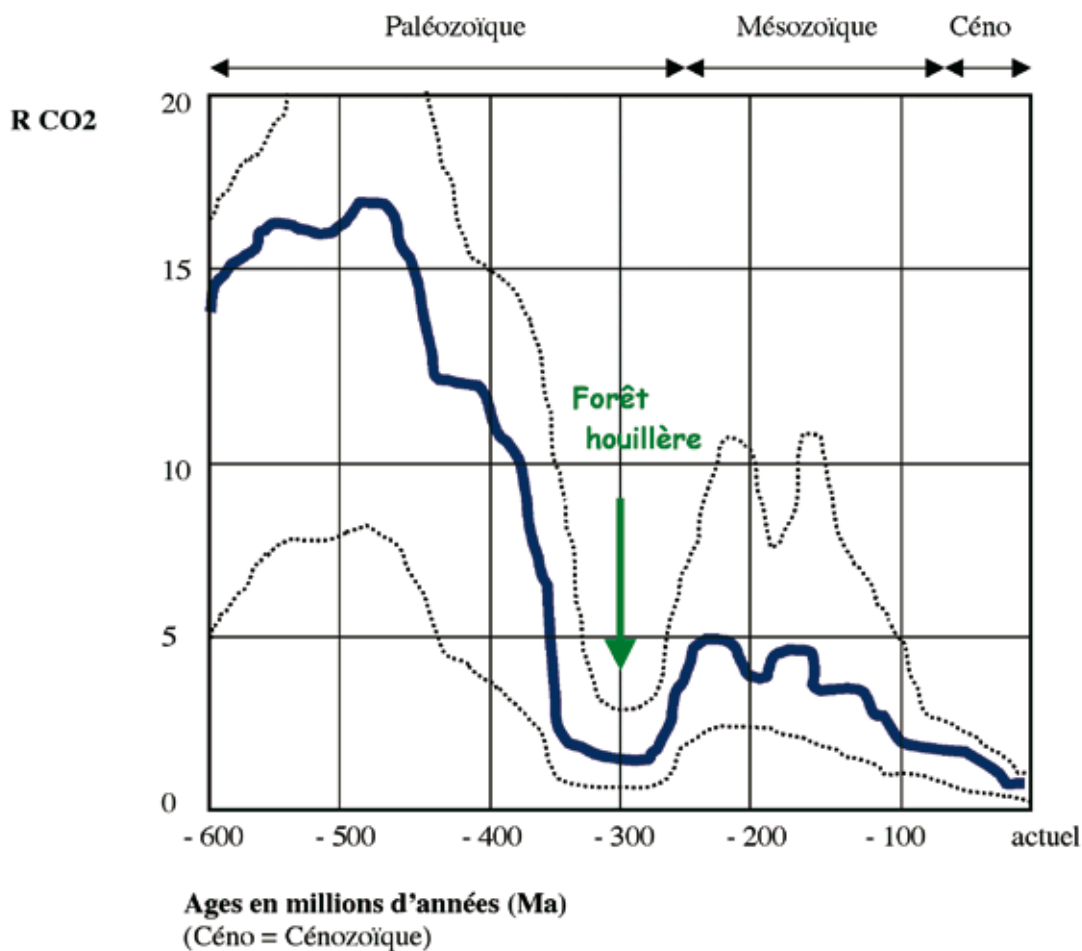
L'élevage, le méthane et le réchauffement climatique :

L'élevage fait vivre 1,3 milliard de personnes et c'est souvent la seule activité économique des populations pauvres. La production mondiale de viande est de 229 millions de tonnes. Elle pourrait passer à 465 Mt en 2050 avec l'augmentation du niveau de vie.

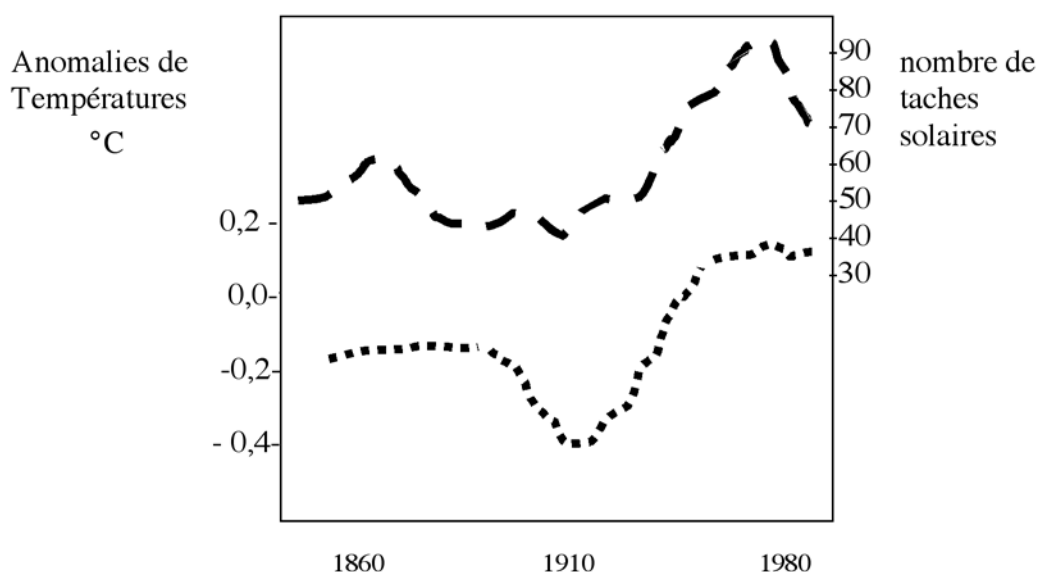
³⁰ Les modèles prédictifs sur la base d'un doublement de la teneur en CO₂ vers la fin du siècle, soit de 360 à 720 ppm devraient donc être revus à la baisse avec une élévation de « seulement » 2,5 à 3° au maximum.

³¹ Fluteau 2003.

³² GIEC 2001.



(fig. 9) Evolution de la concentration atmosphérique en CO₂ depuis 600 millions d'années. En ordonnées, la RCO₂ est définie comme le rapport entre la masse de CO₂ atmosphérique à un temps donné du passé sur la masse actuelle (valeur pré industrielle de 300 ppmv) (in Fluteau, 2003). * 0,0001 % = 1 partie par million en volume (1 ppmv). Aujourd'hui la concentration en CO₂ est de l'ordre de 0,0365 % ou 365 ppmv.



(fig. 10) L'activité solaire, une composante naturelle du changement à l'échelle historique (GIEC 2001). Entre 1900 et 1920 le minimum de taches solaires annonce la fin du du Petit âge Glaciaire, et le début de l'optimum des XX^e-XXI^e siècles ou « réchauffement climatique »

L'élevage³³ est un des premiers responsables des problèmes d'environnement. Mesurée en équivalents CO₂, la contribution de l'élevage est plus élevée que celle des transports. Il est responsable de 65% des émissions d'oxyde d'azote NO, essentiellement imputable aux fumiers. Le NO a un potentiel de réchauffement X300 à celui du CO₂. Le bétail produit 37% des émissions de méthane CH₄ liées aux activités humaines, le méthane agissant vingt fois plus que le CO₂ sur le réchauffement³⁴.

Les pâturages occupent 30% des continents et 33% des terres arables sont utilisées pour alimenter le bétail. Ce sont des surfaces insuffisantes d'où défrichements supplémentaires de forêts. Autres dégâts : 20% des pâturages sont dégradés par une surexploitation d'où tassement et érosion des sols. Enfin, l'activité élevage est aussi nuisible pour la ressource Eau.

Que faire pour limiter l'impact de l'élevage ? Améliorer l'alimentation animale, diminuer la consommation des produits animaux. Cela vaut pour les pays riches : il reste moins dangereux de mettre à la diète quelqu'un de bien nourri qu'un organisme souffrant de mal nutrition. Ainsi, un Indien consomme en moyenne 5 kg de viande par an, un Américain 123 kg !

La déforestation

La déforestation peut avoir des conséquences sur l'effet de serre : Moins de CO₂ et d'énergie solaire sont absorbés donc l'évaporation et le cycle atmosphérique de l'eau diminuent dans les régions tropicales.

Au fur et à mesure que le sol se retrouve dénudé de toute couverture végétale importante, étant moins protégé, il est alors facilement balayé par les eaux de pluie et les vents. C'est la désertification.

Entre 1300 et le début du XX^{ème} siècle, peu de grandes sécheresses ont été signalées, en 1300, en 1550, en 1700, en 1850.

A partir de 1900, avec le réchauffement actuel, les grandes périodes de sécheresse se sont intensifiées.

La forêt peut avoir un rôle positif même avec le bois-énergie

Le bilan général du carbone en milliards de T par an (ou Gt)³⁵ varie sur les dernières décennies : il est en sensible augmentation depuis 1989 d'environ 10 % :

	1980-89	1990-98
Combustion de carbone fossile	5,5 ±0,5	6,3 ±0,6
Émissions liées à la déforestation	1,7 ±0,8	1,6 ±0,8
Stockage dans l'atmosphère	3,3 ±0,2	3,3 ±0,2
Fixation par les océans	2,0 ±0,8	2,3 ±0,8
Fixation brute des continents	1,9 ±1,3	2,3 ±1,3
Total	14,4	15,8

Aujourd'hui, les stocks (fig 11 et 12) sont importants (650 Gt pour la végétation, 1500 à 2000 Gt pour les sols contre 750 Gt pour le CO₂ atmosphérique) ; les flux le sont également, avec des émissions de CO₂ dans le passé (déforestation, mise en culture) et actuellement un stockage de carbone (>2 GtC/an)³⁶.

Les forêts forment l'essentiel de la biomasse continentale, un des trois stocks de carbone actifs du système « surface terrestre-atmosphère », avec l'atmosphère et les océans. Les flux échangés entre océans et atmosphère (90 Gt C /an) sont du même ordre de grandeur que ceux échangés entre biomasse continentale et atmosphère (120 Gt C / an).

Les rejets de carbone par l'homme, c'est à dire les émissions des combustibles fossiles (7Gt C / an) et la déforestation (7Gt C /an) quoique de plus faible ampleur (9 Gt C /an), ne sont pas compensés. L'augmentation de la teneur atmosphérique en CO₂ a un effet « fertilisant » sur les forêts, dont l'ampleur globale est mal connue du fait du rôle des autres facteurs limitants (eau, minéraux...).

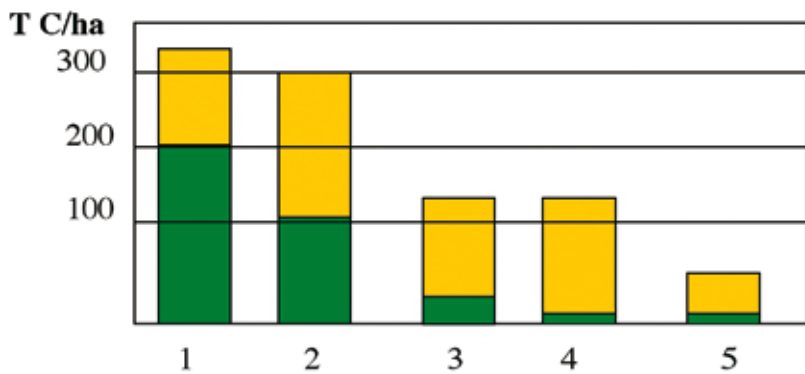
Le stockage annuel de carbone par la forêt est significatif, relativement aux flux anthropiques émis. Il a cependant des limites : une forêt mature ne stocke plus car le stockage dépend évidemment des capacités de croissance et de fixation du CO₂ par photosynthèse, processus qui ralentit avec l'âge et se stabilise. D'autre part, le maintien du stock

³³ Rapport Impact écologique de l'élevage, FAO, déc 2006.

³⁴ Heureusement, le méthane ne représente que 1,8 ppm soit 0,00018 % des gaz atmosphériques.

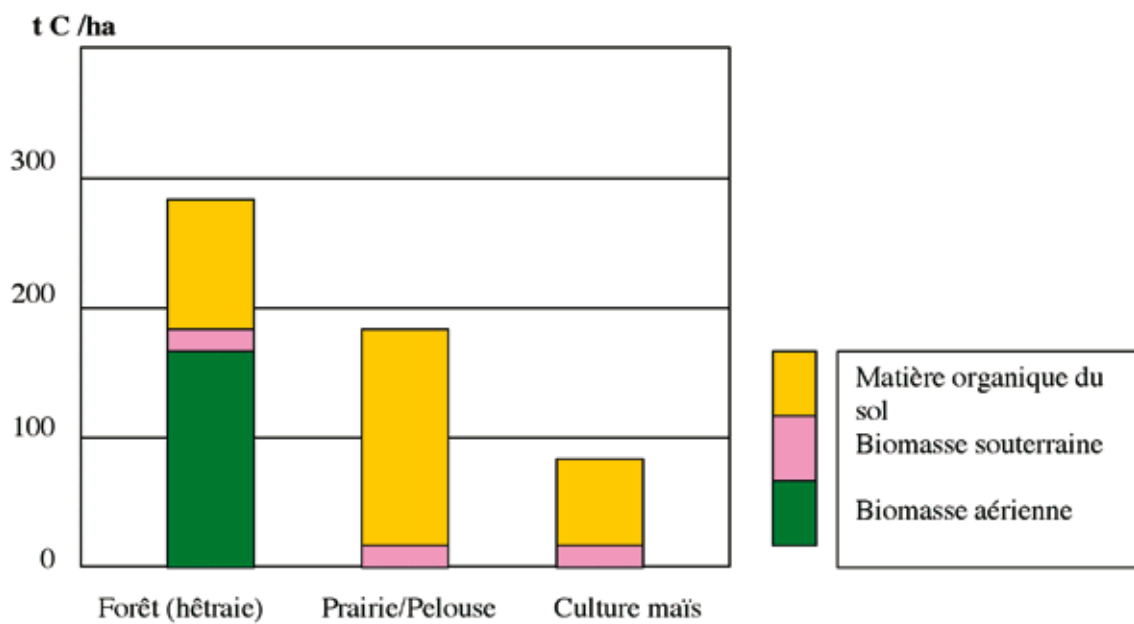
³⁵ Robert et Saugier 2003.

³⁶ à comparer aux 3900 Gt de C de la mer; à comparer aux 20 millions de Gt de C des calcaires.

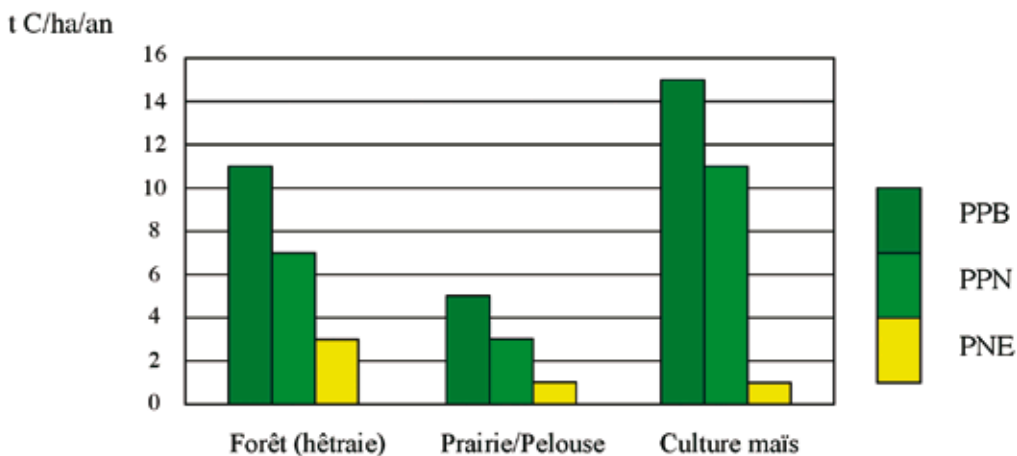


(fig. 11) Stocks de carbone par unité de surface dans la végétation et le sol : 1 et 2 Forêts tropicales et tempérées, 3, milieux ouverts semi-arides et arides, 4 cultures, 5 déserts (jaune : sol, vert : végétation) (Robert et Saugier, 2003).

(a)



(b)



(fig. 12) Stocks (a) et flux de carbone (b) dans trois écosystèmes. PPB est le carbone fixé par photosynthèse ou productivité primaire brute, PPN est le carbone utilisé pour fabriquer de la biomasse végétal ou productivité primaire nette, PNE est la productivité nette de l'écosystème correspondant au stockage du carbone (Robert et Saugier, 2003).

sur le long terme nécessite d'être garanti par une exploitation raisonnée et économiquement viable. Le développement de la filière bois-énergie oblige à un remplacement des arbres ayant atteint l'âge d'exploitabilité par des jeunes qui se développeront et fixeront le carbone.

Ainsi, paradoxalement, si elle est réalisée à une échelle suffisante, la production de bois énergie améliorera sinon optimisera la capacité annuelle de stockage. Il s'agit là d'une des orientations les plus réalistes pour économiser au mieux les énergies fossiles³⁷. Mais il est évident que, sauf à adopter un boisement très ambitieux sinon généralisé, c'est impossible dans les zones de protection³⁸. D'autre part, cette capacité est longue à mobiliser pour être seule efficace, sauf au détriment d'autres types d'allocations des terres, c'est-à-dire les terres agricoles dont la vocation initiale est déjà menacée par les biocarburants.

Une action anthropique raisonnée par le reboisement, le changement d'utilisation des terres et de bonnes pratiques culturales, peut augmenter la séquestration de carbone dans la biomasse et dans les sols pour des durées de plusieurs décennies, ce qui peut constituer un apport non négligeable à la lutte contre l'effet de serre dans le cadre du protocole de Kyoto et peut avoir, en plus, des effets bénéfiques pour l'environnement³⁹.

On doit donc tirer partie de tous les moyens connus pour améliorer notre gestion de la ressource et s'adapter au changement climatique : stockage, bonification de l'énergie, maîtrise des consommations fossiles, modération des émissions⁴⁰.

Par exemple, pour modérer les émissions, remplacer le charbon par du gaz naturel réduirait les rejets de CO₂ de 50 à 25 kg par giga Joules et les coûts d'environ 10 %.

Pour diminuer encore les émissions, le stockage du carbone serait moins cher que l'énergie solaire ou l'amélioration des rendements énergétiques.

Bien que l'énergie éolienne soit relativement intéressante son coût est encore deux fois celle du

gaz naturel, l'énergie solaire est deux à quatre fois plus chère que le gaz naturel. Ces technologies ne permettent pas une constance d'approvisionnement et pour l'éolien « gèlent » de trop grandes surfaces. L'électro-nucléaire reste l'énergie la plus intéressante quoique contrairement à une idée faussement répandue il émet de la vapeur d'eau qui est le principal gaz à effet de serre (30 fois le CO₂) !.

Les modèles du climat

Un modèle informatique comporte un ensemble de données que l'on ne sait pas forcément relier entre elles. Les modèles se compliquent chaque jour davantage en acceptant de nouvelles données et sont de ce fait moins précis que les premiers qui faisaient appel à peu de paramètres.

Les modèles sont prédictifs mais on retiendra qu'ils ne prévoient pas la réalité future mais seulement des hypothèses sur une réalité future possible, une nuance que les médias ignorent souvent.

Comment augmentera la température moyenne de surface entre 1990 et 2100 selon les scénarios et les modèles⁴¹ ?

Chaque scénario d'émission de gaz à effet de serre (désigné par un numéro) correspond à des hypothèses différentes (fig 13). L'augmentation globale de la température de surface en 2100 serait comprise dans une fourchette assez large, allant de 2 à 6 degrés environ (voir aussi note 32). Une partie de cet écart entre les résultats provient des projections économiques (tirets), l'autre partie reflète la diversité des modèles climatiques (en pointillé). Ce niveau d'incertitude est le même depuis le début de la modélisation. Les barres à droite représentent les changements possibles de températures selon les divers scénarios depuis le plus écolo (5) au plus consommateur (1).

Noter le chevauchement des barres d'erreur 1 et 5 : cela veut dire qu'on ne sait pas si un changement d'attitude dans la consommation sera plus intéressant que le statu quo !

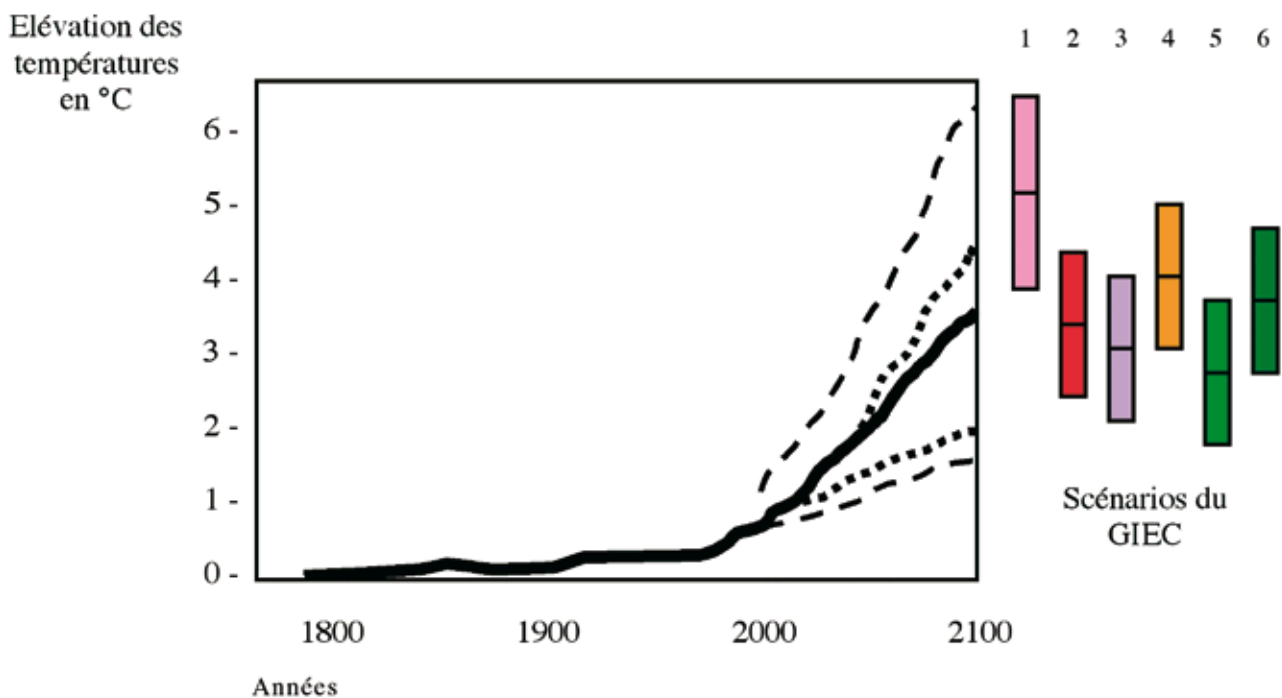
³⁷ Prieur *et al.* 2004.

³⁸ Ainsi le Parc national des Cévennes préconise un maintien des paysages ouverts, garants d'une protection de la biodiversité.

³⁹ Robert et Saugier, 2003.

⁴⁰ Il est peut-être préférable de parler d'adaptation au changement climatique plutôt que de lutte contre le changement climatique, ce qui conduit à des effets pervers tel le gaspillage ; exemple les canons à neige pour compenser le manque d'enneigement etc.

⁴¹ Le Treut 2003.



(fig. 13) Evolution de la température globale de surface entre 1800 et 2100 pour six scénarios du GIEC et pour l'ensemble des modèles prédictifs. (d'après Hervé Le Treut, 2003)

Le réchauffement climatique et la fonte des glaces polaires

L'eau de mer prend en glace aussitôt que la température est suffisamment basse : à partir de -8°C ; le plus souvent, vers -12 ou -15°C . on parle de banquise. Les glaces marines sont généralement de faible épaisseur. La banquise, par sa couleur claire, a un fort pouvoir de réflexion des rayons solaires, et donc un rôle dans les variations de l'albédo de la surface de la Terre. Une augmentation de sa taille favorise le refroidissement naturel de la Terre alors que sa fonte amplifie le réchauffement climatique en diminuant l'albédo moyen de la surface terrestre. La fonte des glaces de mer (banquises) n'influence pas le niveau marin. En effet, comme les glaces de mer flottent, elles déplacent un volume d'eau de mer dont le poids est égal au poids de la glace (principe d'Archimède). Il ne faut pas confondre avec les images d'un glacier en crue, débordant en mer, qui traduit une avancée et non une fonte des glaces !

La diminution de la superficie des glaces de mer commence approximativement pendant l'intervalle pour lequel on dispose d'observations pour la

représentation graphique des glaces de mer, soit de 1968 à 1999. La superficie des glaces commence à diminuer légèrement plus vite après 2000. Vers 2050, la couverture estivale de glaces de mer dans l'océan Arctique aura disparu.

Il faut remarquer que ces résultats sont obtenus à l'aide d'un modèle particulier utilisant un scénario particulier de forçage futur par les gaz à effet de serre et les aérosols. Ils servent ici d'exemple des changements prévus dans la cryosphère qui pourraient accompagner les changements climatiques⁴².

Evolution du niveau des océans

Au fur et à mesure que le climat va se réchauffer le niveau des océans va s'élever. Ceci est dû à la dilatation de l'eau sous l'effet de la chaleur, l'eau chaude occupant un peu plus de volume que l'eau froide, et de la fonte des glaces polaires et des glaciers (Groenland et Antarctique).

La question est de savoir de combien. D'après les relevés du satellite Topex-Poseidon du 10/08/1992 au 07/12/2001 (à $0,50$ mm près), le niveau de

⁴² CCmaC Canada

l'océan monte d'environ $2,50 \pm 0,20$ mm par an. Depuis 1880, le niveau de la mer a augmenté de 12 cm environ, 5 cm dus à la dilatation thermique et 7 cm à la fonte des glaciers.

En 2100 le niveau de la mer pourrait s'élever de 17 à 49 cm . Cette élévation sera surtout due à la *dilatation thermique* de l'eau des océans. 6% du territoire français serait soumis aux risques d'inondations. Avec une montée des eaux de 50 cm, 80 % des zones marécageuses côtières risquent d'être submergées.

Une hausse de 1 m entraînerait des pertes de terre émergées d'environ 0,05.% en Uruguay, 1 % en Égypte, 6 % aux Pays-Bas, 17,5 % au Bangladesh et jusqu'à 80 % environ dans l'atoll Majuro en Océanie, îles Marshall, Kiribati.

Le futur à l'échelle géologique

C'est l'insolation (quantité d'énergie arrivant sur la terre) qui est le moteur principal du climat. On y ajoutera sur le long terme la dérive des continents.

Les fluctuations de l'insolation dépendent de :

- la forme de l'orbite terrestre mesurée par l'excentricité, e . Elle passe d'un cercle presque parfait à une ellipse légèrement aplatie (au Quaternaire, e atteint au maximum la valeur d'environ 0,06), avec une quasi-période de 100 000 ans.

- l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre, l'obliquité, qui varie entre 22° et 25° , avec une périodicité de 41 000 ans.

- la précession climatique : la Terre oscille comme une toupie. Ce mouvement décale lentement la position des équinoxes par rapport au périhélie (point de l'orbite terrestre le plus proche du Soleil) et module l'effet de l'obliquité sur l'insolation saisonnière avec une double périodicité, elle

suit un cycle d'environ 21000 ans. De plus, l'amplitude de la précession climatique est elle-même influencée par l'excentricité. Ces deux paramètres diminuent donc de concert.

Dans le futur, la quantité d'énergie reçue journalièrement sur Terre dépendra essentiellement de la précession. Quand l'excentricité devient très faible, les variations d'insolation sont donc d'autant plus amorties. Cela sera le cas au cours des dizaines de milliers d'années à venir.

À ce moment, l'amplitude des changements d'insolation sera considérablement réduite et beaucoup plus petite que pendant le dernier interglaciaire il y a 120 000 ans.

Par exemple, à 65°N au solstice d'été, les variations d'insolation seront inférieures à 25 W/m^2 au cours des 25 000 prochaines années, alors qu'elles atteignaient 110 W/m^2 entre 125 000 et 115 000 années avant le Présent (100 W/m^2 représentent 20% de l'énergie reçue actuellement à 65°N au solstice d'été !).

Les géologues utilisent un modèle (LLN) pour prédire l'évolution future du climat de l'Holocène tenant compte des variations de l'énergie reçue du Soleil et de la concentration en CO_2 dans l'air notamment.

La plupart des scénarios appliqués aux 100 000 prochaines années conduisent à un interglaciaire exceptionnellement long, s'étendant de 8000 ans avant le présent à quelque 50 000 ans dans le futur. Un premier stade glaciaire apparaîtrait à 65 000 ans et il faudra attendre 100 000 ans pour observer le prochain maximum glaciaire.

Seuls les scénarios où la concentration future en CO_2 est inférieure à 220 ppmv conduisent à une entrée précoce en glaciation, une situation totalement improbable au vu des concentrations préindustrielles et actuelles⁴³.

⁴³ Berger 2006.

REFERENCES

- Anderson J.M. *et al.*, 1999. Pattern of plants Gondwana colonisation and diversification. *J. of African Earth Sciences*, 28 (1), p. 148-167.
- Bard E. *et al.*, 2006. Chronologie des variations climatiques rapides pendant la dernière période glaciaire. *C.R. Palevol* 5, pp 13-19.
- Berger A. 2006. Les causes astronomiques des grandes variations du climat au Quaternaire. *C.R. Palevol* 5, pp 21-26.
- Berner R.A. 2003 The rise of trees and their effects on Paleozoic atmospheric CO₂ and O₂. *C.R. Geoscience* 335, pp 1173-1177.
- Bottjer D.J. et Gall J.-C., 2005. La reconquête triasique, l'aube de la biosphère moderne. *C.R. Palevol* 4, pp 453-461.
- Carrion J.S., Fernandez S., Fuentes N. 2006. Una perspectiva paleobotánica y por tanto heterodoxo para las grandes extinciones in "Paleoambientes y cambio climático", Fundación Seneca Murcia : pp 31-53.
- Demars P.Y. et J.-P. Bocquet-Appel 2000. Neandertal contraction and Modern human colonization of Europe. *Antiquity* 74: pp 544-552.
- Durand A. 1998. *Les paysages médiévaux du Languedoc*, X-XII siècles. Presses universitaires du Mirail, Toulouse, 490 p.
- Etiévant H. - <http://cyberzoide.developpez.com>
- Feruglio V. 2006. De la faune au bestiaire – La grotte Chauvet-Pont d'Arc, aux origines de l'art pariétal paléolithique. *C.R. Palevol* 5, pp 213-222/.
- Finlayson C. et Carrion J.S., Rapid ecological turnover and its impact on Neanderthal and other human populations. *Trends in Ecology and Evolution*, electronic version 2007.
- Fluteau F , 2003. La dynamique terrestre et les modifications climatiques. *C.R. Geoscience*, pp 157-174.
- Gould S.J. 1991. *La Vie est belle*, Seuil coll. Science ouverte.
- Houghton J.T. *et al.* (eds.) 2001. *Climate Change: The scientific basis*, Cambridge University Press, Cambridge , 881 p.
- Jankovic I. *et al.* 2006. Vindija cave and The modern human peopling of Europe. *Coll Antrop.*, 30, 3 : 457-466.
- Jouzel J., 2003. Climat du passé (400 000 ans) : des temps géologiques à la dérive actuelle. *C.R. Geoscience* 335, pp 509-524.
- Labeyrie J. 2006. Paléoclimats et mécanismes climatiques. *C.R. Palevol* 5, pp 27-34.
- Le Roy Ladurie E. 1971. *Times of Feast, Times of Famine, a history of climate since the year 1000*. Allen & Unwin London, 428 p
- Le Roy Ladurie E. 2005. *Peut-on écrire l'histoire du climat ?*
Communication à l'Académie des sciences morales et politiques le lundi 4 avril 2005.<http://www.canalacademie.com/Peut-on-ecrire-l-histoire-du.html>
- Le Treut H. 2003. Les scénarios globaux de changement climatique et leurs incertitudes *C. R. Geoscience* 335, pp 525–533.
- Petit JR, Jouzel J *et al.* 1999 : Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core in Antarctica, *Nature*, 399, pp 429-436)
- Prentice I.C. *et al.*, 2000. Mid-Holocene and glacial-maximum vegetation geography of the northern continents and Africa. *Journal of Biogeography*, 27, pp 507-519.
- Prieur A., Bonnet J.F., Combarrous M. 2004. Les surfaces boisées à l'échelle de la planète : usages conjoints pour la séquestration du carbone et la production d'énergie *C. R. Geoscience* 336, pp 1323–1335.
- Rapport Impact écologique de l'élevage, FAO, déc 2006

- Robert M. et Saugier B., 2003. Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du Carbone. *C.R. Geoscience* 335, pp 577-595.
- Rouchy J.M. 1982. La genèse des évaporites messiniennes de Méditerranée. *Mém. Mus. NHN Paris, sér. C*, 267 p.
- Rouchy J.M. 1999. Un évènement exceptionnel: la crise de salinité messinienne de Méditerranée. In Fröhlich F. & Schubnel H.-J. (Ed), *Les âges de la terre*, MNHN, Paris, 104-108.
- Royer J.-F. et al., 2002. Simulation des changements climatiques au cours du XXI^e siècle incluant l'ozone atmosphérique. *C.R. Geoscience* 334, pp 147-154.
- Sadourny R. 1994. *Le climat de la terre*. Flammarion 126 p, coll Dominos.
- Schackleton N.J., Imbrie J. et Pisias N.G. 1988. The evolution of oceanic oxygen-isotop variability in the north Atlantic over the past three million years. *Philos. Trans., B*, 318, 679-688.
- Théry I., Gril J., Vernet J.-L., Meignen L. et Maury J. 1995. First use of coal. *Nature*, 373, 480-481.
- Trinkaus E. et al. 2003. An early modern human from the Pesteră cu Oase, Romania. *PNAS*, 100 : 11231-11236.
- Van Andel T.H. & W.D. Davies (editors)2003. Neanderthals and Modern Humans in the European Landscape of the Last Glaciation -Archaeological Results of the Stage 3 Project. *The McDonald Institute for Archaeological Research Monographs*, Cambridge.
- Vernet J.-L. 1997. *L'homme et la forêt méditerranéenne de la préhistoire à nos jours*. Errance édit. Paris, 248 p.

Le Feu, de la Nature à l'Homme

Jean-Louis Vernet¹

Le feu représente une perturbation naturelle bien analysée dans la végétation méditerranéenne aujourd'hui. Composée de nombreuses essences pyrophiles, cette végétation se décline en écosystèmes variés, plus ou moins arborés et dont la garrigue représente un des stades évolutifs les plus spectaculaires. L'homme, omniprésent depuis la préhistoire, lutte contre le feu pour protéger ses intérêts légitimes, grâce à un arsenal de mesures préventives ou interventionnistes.

Les feux laissent après leur passage des résidus incomplètement carbonisés, les charbons de bois qui représentent ainsi les témoins objectifs des anciens feux dont l'origine sur le globe est aussi ancienne que les forêts primitives. L'étude des charbons de bois ou anthracologie est devenue une discipline à part entière des sciences de l'environnement depuis que l'homme a réalisé les premières fouilles préhistoriques en Périgord, notamment sous l'impulsion de l'abbé Breuil.

Les relations entre l'homme préhistorique et le feu sont complexes, en particulier l'origine de la maîtrise du feu reste incertaine, est-ce un fait culturel ou une nécessité économique?

L'étude des ensembles de charbons de bois associés aux habitats préhistoriques a permis de bien comprendre l'environnement ainsi que les modalités de collecte du bois. De véritables synthèses ont ainsi permis une chronologie bio-climatique et environnementale précise des vingt derniers millénaires. Plus récemment, l'étude des complexes charbonneux présents dans le sol a permis de mieux cerner la structuration du paysage, les exemples de la forêt de St Guilhem le Désert, celui de la pinède du Causse Méjan illustrent cette nouvelle approche des feux et de l'homme.

1. Le feu aujourd'hui en forêt méditerranéenne, lutte et prévention

1.1. Généralités

Le feu est d'abord une perturbation naturelle. Il existe plusieurs catégories de végétaux selon leur aptitude à brûler. On distingue :

- les pyrophiles passifs qui résistent au passage fréquent du feu, grâce à l'épaisseur de l'écorce ou l'incombustibilité du feuillage (exemple le chêne liège);

- les pyrophiles actifs, ils brûlent facilement et régénèrent très vite, le feu les stimulant dans leur croissance (exemple le pin d'Alep).

Les principaux types de feux sont les feux de surface de faible ou moyenne intensité où la strate herbacée est la seule à brûler ; ils laissent des traces noires sur les troncs des arbres, ainsi en forêt de St Guilhem le désert (fig. 1). Lorsque l'intensité augmente, le feu se propage vers la cime mais aussi par les racines.



(fig. 1) Forêt de pins de Salzman de St Guilhem le désert, troncs noircis par le passage du feu

¹ jean-louis.vernet@univ-montp2.fr Conférence Ecole antique de Nîmes, 16 janvier 2008.

1.2. Les forêts méditerranéennes et le feu

Ce sont des forêts pyrophiles actives ou passives. Jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle, le feu était considéré comme une perturbation destructrice (fig. 2) dont on avait tout à craindre, conduisant d'une forêt stable, la « silva » au désert final. En outre, le feu était exclu du fonctionnement de



(fig. 2) Pinède brûlée à l'été 2003 près de Caussignac (Lozère)

l'écosystème forestier. Les effets de l'incendie lui-même n'étaient pas séparés des effets conjoints des défrichements, du charbonnage et du surpâturage. Le feu était rejeté en même temps que les autres pratiques destructrices. Il était considéré comme totalement négatif.

A cette époque, l'écologie mettait l'homme en dehors du milieu naturel. Depuis la dernière partie du XX^{ème} siècle, on a commencé à revoir ce dogme de plus près en réalisant le rôle positif du feu sur la minéralisation de la matière organique en régions semi-arides et sèches.

L'incendie est considéré aujourd'hui comme un élément fondamental de la structuration de l'écosystème méditerranéen, le problème est qu'il interfère avec l'homme et les priorités changent alors².

Du point de vue de la biodiversité, dans les faciès de végétations moyennement brûlés, le feu est un élément d'enrichissement floristique, les communautés du feu étant plus complexes que celles qui sont totalement épargnées ou au contraire trop brûlées (cas de la pelouse de brachypode rameux).

1.3 La pré forêt de pin d'Alep, une adaptation au feu remarquable

Une pré forêt est une formation en équilibre précaire préparant la forêt de feuillus. Sous l'action des feux, elle peut s'auto-entretenir.

Le pin d'Alep est très combustible, son écorce le protège des feux courants peu intenses mais il est souvent la proie d'incendies de couronne : sa régénération par semis est alors très rapide, les cônes protégeant les graines au passage du feu puis éclatant sous l'effet de la chaleur et les dispersant au loin.

Le feu est donc indispensable au pin d'Alep pour se régénérer. C'est l'espèce pyrophile typique de remplacement : 30 % au moins des forêts méditerranéennes brûlées sont composées de pré forêts de pins d'Alep à très grande inflammabilité à cause du tapis d'aiguilles s'incorporant mal au sol et de la sécheresse du sous-bois très éclairé.

Les aiguilles s'incorporent mal au sol, constatation que chacun peut faire avec le pied !

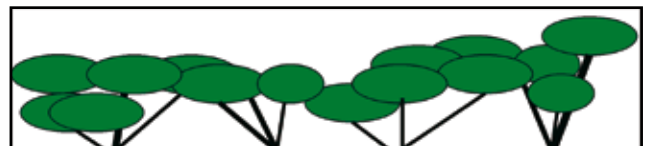
1.4 Les forêts de chênes verts et de chênes-liège

Ce sont des pyrophiles passifs au contraire du pin d'Alep; elles se protègent par des défenses classiques : écorce épaisse (chêne-liège), feuilles peu combustibles.

De plus, le sous-bois de la chênaie de chênes verts est généralement très peu broussaillieux lorsque la forêt est dense et les feux y sont sans conséquence grave.

Ces chênes bien que n'étant pas des pyrophiles actifs, se régénèrent pourtant bien : ils rejettent de souche très rapidement surtout le chêne vert, formant alors des cépées organisées en taillis (fig. 3) alors que l'évolution vers la futaie est très rare du fait de la faible fertilité des sols.

Les garrigues et maquis dérivés des chênaies présentent souvent une bonne adaptation aux feux, on les appelle parfois des « pyroclimax » (fig.4).



(fig. 3) Schéma du taillis de chênes verts constitué de cépées (plusieurs tiges partant de la base). Les diamètres différents indiquent une croissance différentielle et la cépée la plus à droite pourrait évoluer en arbre de futaie.

² Métaillé 1981



(fig. 4) Garrigue basse issue d'incendies répétés : les herbacées jaunâtres et les buissons rabougris sont des formes de résistance à la sécheresse. A la fin de l'été, le risque feu est maximal dans cette formation (massif de la Clape, Aude).



(fig. 5) Citerne DFCI.

1.5. le feu en forêt méditerranéenne aujourd'hui

92 à 98 % des feux sont d'origine humaine contre 5% dus à la foudre.

Tous les incendiaires ne sont pas des pyromanes : les négligences et les malveillances sont les causes premières (conflits de chasse, mégots, grillades, bris de verre faisant loupe etc.). Il n'y a pas de véritable corrélation entre les aléas météorologiques (sécheresse, vent) et la fréquence des feux, ce sont des facteurs aggravant l'action de l'homme.

La forêt méditerranéenne est la fille du feu de par sa composition en essences sclérophylles inflammables (pin, lentisque etc.) et sa structuration multistrate. La répétition des feux est avant tout un fait culturel qui est aggravé par la déprise agricole, l'urbanisation secondaire et la fréquentation inconsidérée des loisirs « verts » hors cadre légal (motos trial, campeurs sauvages etc.).

1.6. Lutte et prévention

Plusieurs cadres légaux permettent une bonne approche de la défense contre les incendies³.

1.6.1. Périmètres de Défense des Forêts Contre les Incendies (DFCI)

Les aménagements DFCI comportent trois types d'équipements : des pistes d'accès, des pare-feux (25 m de part et d'autre d'une piste) et des points d'eau comme dans la Gardiole près de Montpellier (fig. 5). Leur efficacité s'est révélée insuffisante en raison des caractéristiques de la forêt méditerranéenne française, notamment les difficultés d'accessibilité (relief accidenté),

l'importance du morcellement de la propriété forestière et la plus grande complexité structurelle de cette forêt (diversité des essences et des types de peuplements).

1.6.2. Plan de Prévention des Risques (PPR)

Le dispositif des périmètres DFCI a été complété par des plans de prévention qui s'inscrivent dans une vision plus globale d'aménagement du territoire. La loi Barnier du 02 février 1995 contraint les communes exposées à élaborer un *Plan de Prévention des Risques (PPR)* qui consiste en un zonage de l'espace en fonction de la gravité du risque d'incendie :

1) zones les plus fortement exposées, toute nouvelle construction est formellement interdite (sauf dérogation préfectorale exceptionnelle).

2) zones moyennement exposées, les nouvelles constructions sont autorisées sous certaines conditions (matériaux de construction peu inflammables et aménagement permettant l'accessibilité des services de lutte contre l'incendie notamment).

3) zones sans risque, aucune contrainte n'est imposée.

En réalité, très peu de communes concernées par le risque d'incendie ont élaboré un PPR.

Elles reprochent à ce dispositif sa trop grande complexité juridique et administrative.

Dans les communes les plus exposées, l'élaboration d'un PPR supposerait le classement de la plus grande partie du territoire communal en zone à risque.

³ Clément 2004, 2005.

Cela aurait pour conséquence de geler de vastes superficies qui de fait ne seraient plus urbanisables.

1.6.3. Plans de Prévention des Forêts Contre l'Incendie (PPFCI)

Face à cet échec, les PPR ont été récemment remplacés par les *Plans de Prévention des Forêts Contre l'Incendie (PPFCI)*, instaurés par la loi du 09 juillet 2001.

L'une des innovations des PPFCI est de dépasser le strict cadre communal. En effet, les PPFCI doivent être élaborés pour chaque massif forestier, indépendamment des divisions administratives.

La loi de 2001 impose aussi de nouvelles obligations ou renforce des dispositions antérieures.

Ainsi, il est interdit de circuler en véhicule à moteur en forêt en période sensible et de faire des feux à moins de 200 m d'une zone boisée. Les propriétaires, publics ou privés, doivent couper les chablis et retirer les bois brûlés après un incendie. Ils ont aussi l'obligation de débroussailler dans un rayon de 50 m autour de leur habitation, si celle-ci se trouve à moins de 200 m d'une forêt.

Les maires sont tenus de faire respecter le volet débroussaillage de la loi de 2001. Ils sont chargés d'établir un Plan intercommunal de Débroussaillage et d'Aménagement des forêts (PIDAF).

Les actions entreprises dans le cadre des PIDAF sont financées entre 80 % et 100 % par l'État. Outre les opérations de débroussaillage et d'amélioration de l'accessibilité, les PIDAF peuvent aussi inclure des actions à plus long terme pour réduire la vulnérabilité des massifs forestiers :

- Des programmes de feux dirigés, la ré-introduction de troupeaux débroussailleurs ou la création de mosaïques paysagères (vergers, vignes, espaces pastoraux) qui créent de grandes coupures souvent plus efficaces que les pare-feux pour arrêter la propagation des flammes (fig.6).

La loi de 2001 permet aussi aux services techniques des mairies d'effectuer des travaux de débroussaillage à la demande des propriétaires privés, ce qui n'était pas autorisé auparavant.



(fig. 6) Le vignoble de la Clape a joué son rôle de pare-feu lors d'un incendie récent.

- Les feux exceptionnels de 2003 ont démontré les limites de la politique de prévention. Dans des conditions climatiques extrêmes, malgré l'importance des moyens d'intervention et de prévention, il est très difficile de lutter efficacement. Mieux prévenir le risque reste donc une nécessité. Mais il faudrait surtout développer plus efficacement l'information du public et promouvoir l'émergence d'une véritable culture du risque.

2. Les charbons de bois, témoins des feux

Les feux laissent après leur passage des résidus ligneux incomplètement carbonisés, les charbons de bois (fig. 7) mais aussi des restes de construction, murets etc. (fig.8).

Le feu est partie prenante des écosystèmes naturels depuis 325 Ma, avec le Dévonien⁴.

Longtemps, les feux furent causés par la seule foudre : en comparaison, aujourd'hui, on dénombre environ 8 millions d'impacts par an. 8 milliards de T de végétation brûlent chaque année dans les régions tempérées comme tropicales.

L'action de l'homme supplantera largement les feux naturels pour les périodes préhistoriques récentes : en fait deux voies sont privilégiées, l'une plus ou moins naturelle, l'autre liée à l'exploitation de la forêt (fig 9).

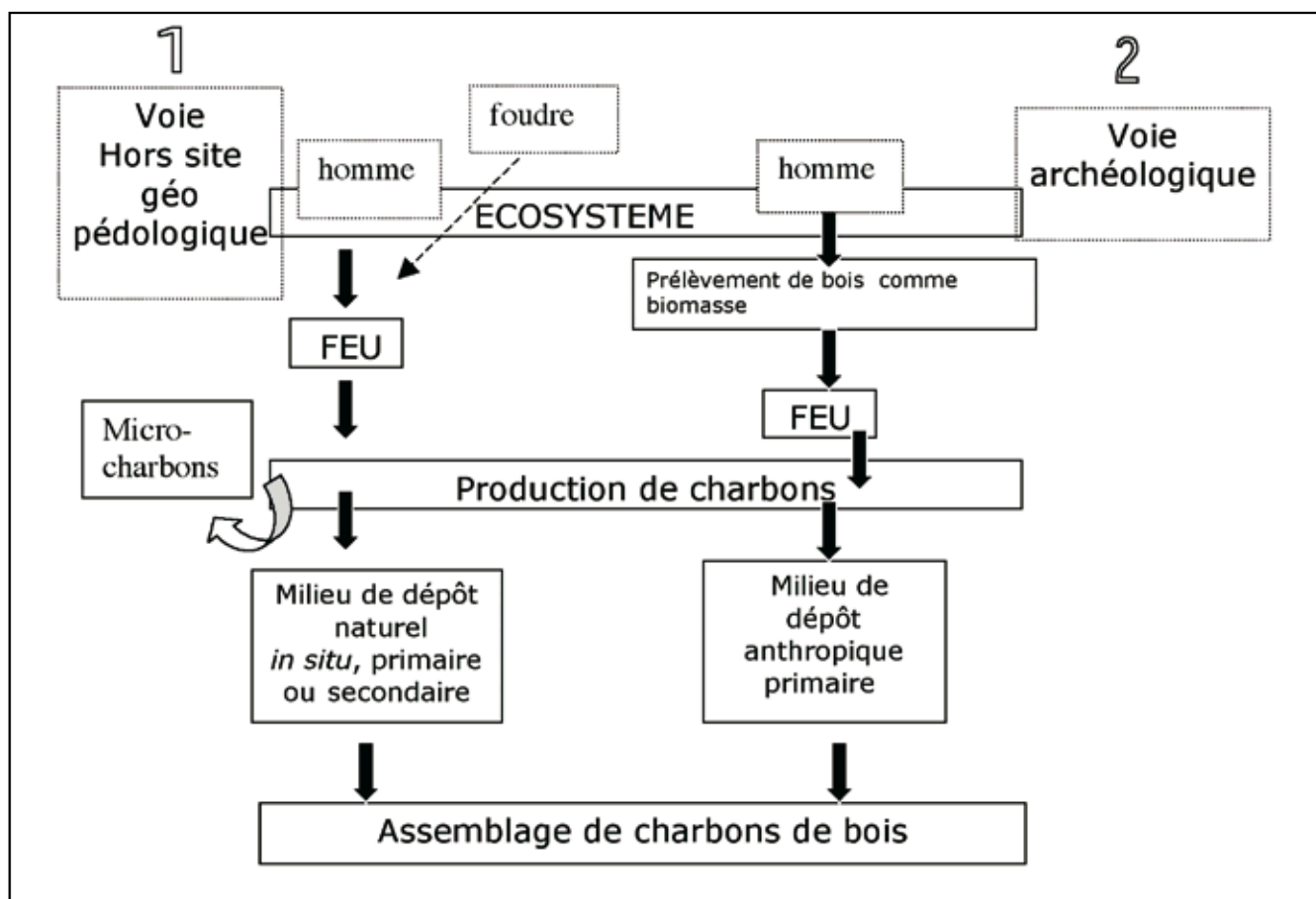
Ce sont les charbons de bois qui vont témoigner de cette histoire complexe. L'antracologie est la science qui étudie les charbons de bois.



(fig. 7) Après le feu, sous l'effet de la pluie, les charbons sont entraînés vers les points bas. Le cône de pin à peine noirci par le feu est tombé postérieurement à celui-ci indiquant que les arbres n'ont pas brûlé complètement. Le bourrelet charbonneux marque le front de ruissellement de l'eau à la surface du sol. Il est resté en place après infiltration ou évaporation (Causse Méjean, Lozère).



(fig. 8) Après le feu, des structures jusque là masquées par la végétation apparaissent, ici un mur ancien. (Causse Méjean, Lozère vers Caussignac).



(fig. 9) Représentation schématique des deux voies du feu, voie archéologique et voie hors site archéologique.

⁴ Falcon-Lang 2000, Jones et Chaloner 1991, Rowe et Jones 2000, Scottie 2000

3. L'homme des origines et le feu

D'après nos connaissances actuelles, les premiers hommes ne savaient sans doute pas faire du feu à volonté, bien qu'ils aient compris les effets de la foudre sur la végétation de savane⁵.

Par exemple, à Koobi Fora, à l'est du lac Turkana, au Kenya, daté de 1,4 Ma environ, on a observé des limons argileux rubéfiés et quelques pièces lithiques brûlées, mais aucun foyer aménagé n'y a été découvert.

A Chesowanja, au Kenya, des sédiments brûlés ont été signalés et quelques charbons de bois (1,4 Ma). L'analyse minéralogique des argiles brûlées indique que la température du feu a été portée à 400–600°C. Aucun foyer n'a cependant été découvert. Dans la grotte de Swartkrans, en Afrique du Sud, vers 1,4 Ma, quelques ossements brûlés ont été mis au jour, associés à une industrie lithique archaïque sur silex. Ils auraient été brûlés à une température élevée (600 °C).

Cependant aucun foyer n'a été mis au jour. A Oldoway, en Tanzanie, entre –1,8 et –1,2 Ma, ont été signalés des sédiments brûlés. A Gadeb, en Éthiopie (1,5 Ma), quelques ossements isolés présentant des traces de feu ont parfois aussi été remarqués.

Dans le Nord d'Israël, sur le site de Gesker BenotYa'aqov, daté d'environ 700 000 ans, quelques graines, des charbons de bois et des silex brûlés, indiqueraient la présence du feu. Néanmoins, aucun ossement brûlé n'a été retrouvé sur le site et aucun foyer aménagé n'a été mis en évidence. A Prezletice, en Moravie (République tchèque), des témoignages de feu ont été repérés dans des dépôts dont l'âge est estimé à –650 000 ans.

Sur tous ces sites très anciens, d'Afrique, du Proche orient comme d'Europe, aucune preuve évidente de foyer aménagé ou de feux entretenus volontairement n'ont été mis en évidence jusqu'à présent.

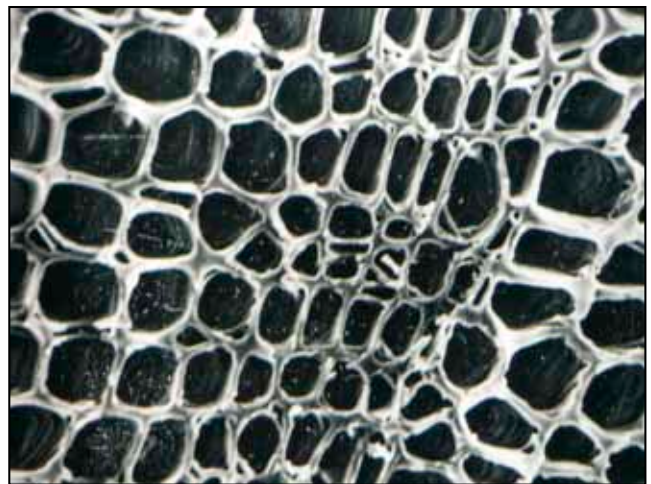
Ce n'est qu'à partir de – 400 000 ans que des aires de combustion bien délimitées, et des foyers structurés, sont prouvés comme à Terra Amata à

Nice. Le site de Terra Amata est situé à proximité du port de commerce de la ville de Nice, au pied du mont Boron, à 26 m d'altitude, sur une ancienne plage marine littorale quaternaire.

On y a mis au jour un sol d'occupation acheuléen dans une dune littorale. Les hommes, chasseurs de cerfs, d'éléphants et même de rhinocéros avaient installé une brève halte de chasse, en bordure de la plaine de Nice, à proximité du delta du Paillon.

Un foyer avait été aménagé sur le site de Terra Amata dans une petite cuvette de 30 cm de diamètre et de 15 cm de profondeur, protégé par une petite murette de galets...

La fosse était remplie de cendres et de minuscules charbons de bois parmi lesquels un sapin⁶(fig 10). Si l'on replace ces données dans l'histoire climatique des derniers 700 000 ans, les premiers feux attestés en Europe pourraient coïncider avec le début des grands froids, vers le quatrième cycle isotopique, et concerner les anté néandertaliens et anciens hominidés.



(fig.10) Un des premiers charbons associé à un feu construit par l'homme : sapin d'environ – 400 000 ans provenant de Terra Amata (photo au microscope électronique à balayage, grossissement initial , environ 700 fois, Vernet 1975).

⁵ De Lumley 2006.

⁶ Vernet 1975.

4. Anthracologie et reconstitution des anciens paysages

4.1. Historique et chaîne opératoire

Heer, 1866, en Suisse, l'abbé Breuil, 1903, en France remarquèrent que les charbons de bois ou bois incomplètement brûlés pouvaient permettre d'identifier les plantes utilisées par l'homme.

Les charbons sont dans les foyers, ils sont prélevés avec soin et ont fait forcément l'objet d'une sélection de la part de l'homme préhistorique.

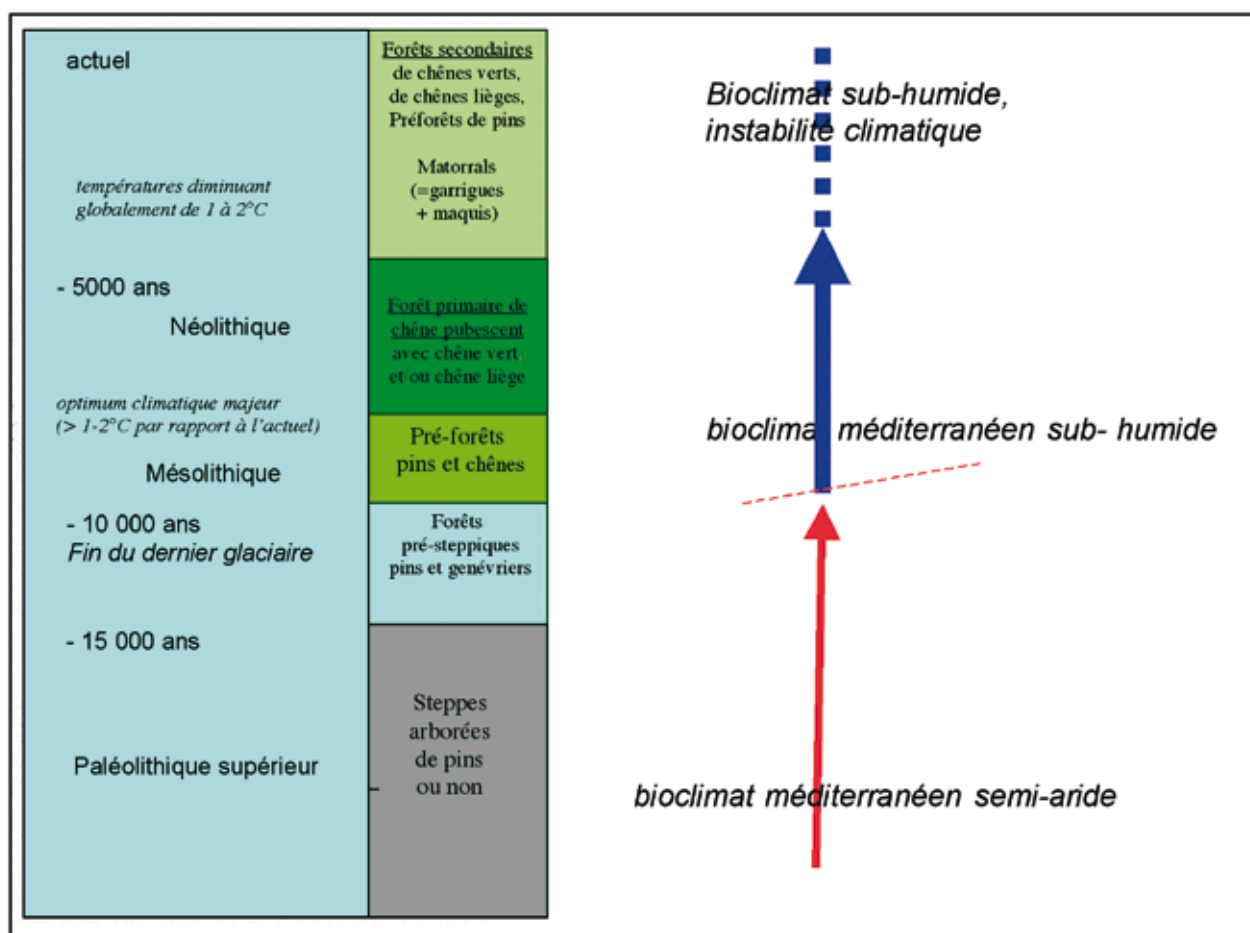
Puis, dans les années 1950, les méthodes de fouilles se perfectionnent sous l'impulsion d'André Leroi-Gourhan. Grâce au Carbone 14, qui va permettre enfin de joindre la préhistoire à l'histoire en élargissant le calendrier, les charbons sont maintenant prélevés avec soin dans les seuls foyers.

Saint-Laurent (1934), Le Du et Saccardy (1948), Balout (1952), Momot (1955), Couvert et Santa (1960), Vernet (1972) mirent l'accent sur les potentialités des charbons de bois pour reconstituer le paléoenvironnement préhistorique notamment sur le pourtour méditerranéen, ouvrant la porte à l'anthracologie moderne qui va faire évoluer cette première approche en dépassant le cadre du foyer seul gisement de charbons⁷.

Comment des restes apparemment aussi fragiles que les charbons de bois permettent-ils une reconstitution de la végétation préhistorique ?

Les nombreuses recherches à ce jour permettent de reconstituer le mode opératoire :

1) Collecte du bois mort par un individu désigné par la collectivité (à tour de rôle ?),



(fig.11) Végétations préhistoriques et historiques d'après les résultats de l'anthracologie (Vernet, 1997)

⁷ Cet historique est développé dans Vernet 1997.

2) Combustion partielle générant des charbons qui se conservent dans le foyer ou en dehors par dispersion,
 3) Cette opération se répète pendant tout le séjour de la communauté préhistorique.
 4) Aujourd'hui, la fouille permet de collecter l'ensemble des charbons concentrés dans les foyers et surtout les dispersés qui donnent une image synthétique de l'environnement.
 5) Tout se passe comme si les différentes collectes de bois représentaient un véritable échantillonnage de la végétation.
 6) Les préhistoriques récoltaient de la biomasse et ne sélectionnaient pas selon les espèces.
 7) Ainsi, dans une forêt européenne 20% des espèces fournissent 80 % de la biomasse. Grâce à l'anthracologie on a pu comprendre le cycle de végétations depuis le Paléolithique supérieur⁸(fig. 11).

4.2. Pratiques récentes en forêt méditerranéenne

La forte dominance de la chênaie méditerranéenne est largement en rapport avec l'utilisation qui en a été faite par l'homme depuis le Moyen-âge : verriers, charbonniers, pasteurs, etc.⁹

L'exemple du charbonnage est particulièrement significatif. Fortement impliqué dans le pourtour des grandes agglomérations ou en relation avec les artisanats proto-industriels, il a contribué à modeler le paysage actuel.

La forêt de Valbonne près de Pont St Esprit dans le Gard nous en fournit un bon exemple. Elle est remarquable par la présence du hêtre enclavé dans un environnement méso-supraméditerranéen à chêne vert de basse altitude (100-300 m) alors que le hêtre a la réputation d'une essence montagnarde¹⁰. Ce qui en fait une des hêtraies les plus méridionales de France. De nombreuses charbonnières jalonnent cette forêt (fig 12).

Le charbonnage, une action anthropique régulièrement pratiquée, exige le maintien de la végétation à un stade peu évolué, nuisant à la survie du hêtre.

• L'anthropisation par le charbonnage, a eu

un impact néfaste sur la hêtraie de Valbonne. Les multiples coupes rapprochées et répétées des charbonniers (environ tous les 20 ans) ont favorisé les espèces rejetant facilement de souche, comme le chêne vert, dont le bois est apprécié des charbonniers.

• Aujourd'hui, la hêtraie ne régresse plus. Des semis indiquent que le hêtre tendrait même à s'accroître en densité.

• Il faut une sylviculture adéquate pour le maintien d'une biodiversité convenable, comme par exemple la protection des arbres sénescents pour la faune inféodée aux vieux bois. Récemment la hêtraie de Valbonne a été classée dans le cadre de la directive européenne (1992) comme habitat d'intérêt communautaire en tant que forêt à houx et fait l'objet d'une gestion particulière favorisant son évolution.

Le même phénomène d'exploitation différentielle de la forêt primaire de chênes pubescents et chênes verts a joué dans la sur représentation de ce dernier, apprécié par les charbonniers et rejetant de souche facilement au contraire du chêne pubescent.

Ainsi, la forêt mélangée s'est transformée au cours du temps en un taillis monospécifique de chênes verts, renouvelé par place tous les 20 à 30 ans avec la rotation du charbonnage¹¹. La régénération de la forêt de chênes verts était aussi assurée pour les vieilles cépées par la méthode du « saut du piquet » et le semis en place.



(fig.12) Coupe dans une charbonnière en forêt de Valbonne (Gard). On distingue bien les charbons de bois.

⁸ détails dans Vernet 1997, Heinz 1990, Thiébault et Vernet 1992, Heinz et Thiébault 1998.

⁹ Fabre 1996.

¹⁰ Farizier 1980.

¹¹ Vernet *et al.* 2002.

5. Enregistrement de feux naturels dans les sols

On peut trouver des charbons dans le sol indépendamment de tout foyer construit surtout depuis 10 000 ans¹². Moyennant une étude précise de leur provenance, il est possible de les utiliser pour reconstituer la végétation brûlée comme on peut le voir sur l'actuel.

5.1 St Guilhem le Désert

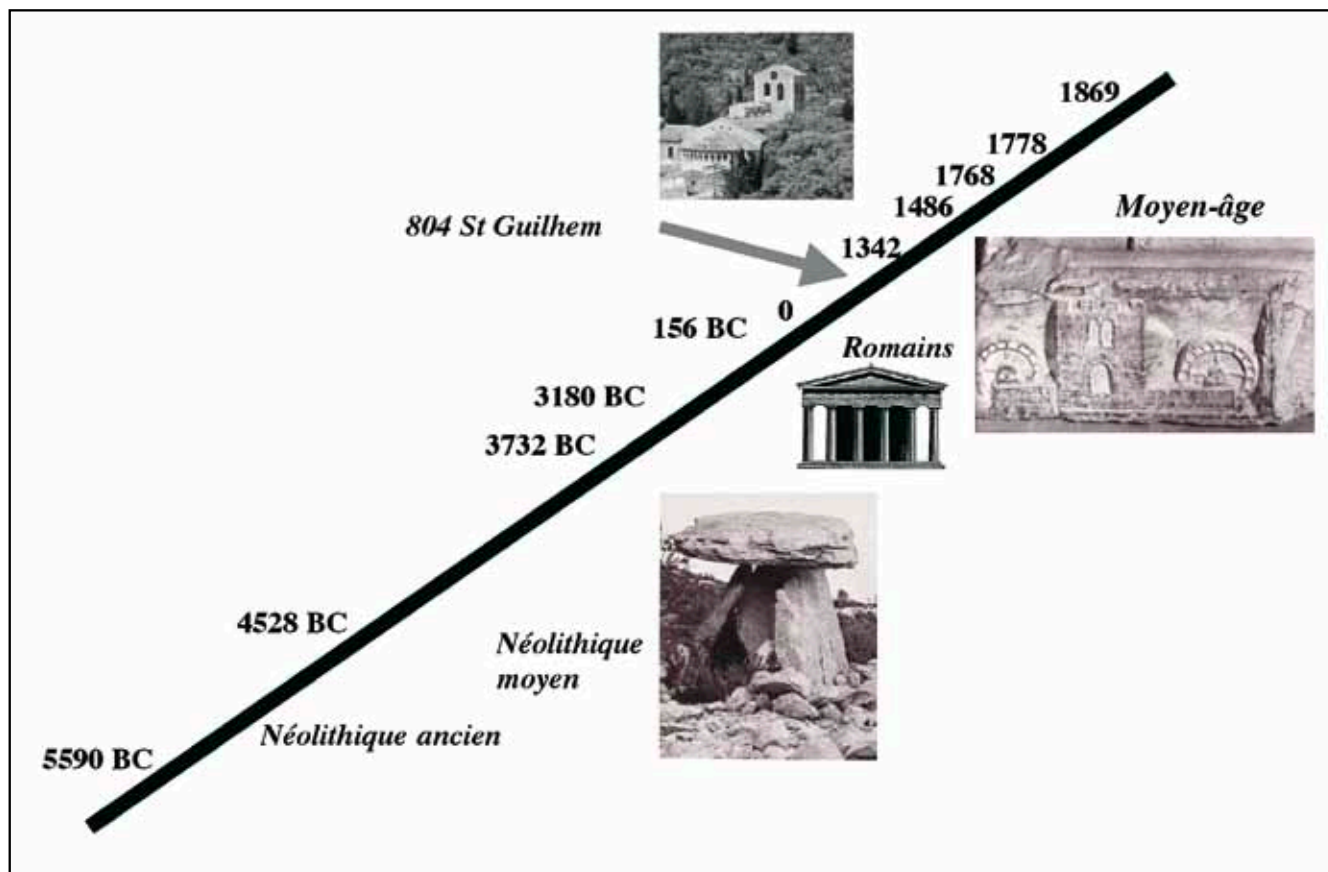
Au dessus de l'abbaye de Gellone construite au IX^{ème} siècle se situe un des plus beaux massifs forestiers du Languedoc. Constitué de pins noirs de Salzmann, il a de tout temps été considéré comme représentatif d'une forêt relictuelle qui aurait été

préservée depuis le Moyen âge malgré une histoire agitée¹³.

En réalité, les choses sont plus complexes puisque, si effectivement des feux ont été enregistrés depuis un ancien Néolithique (fig13), c'est surtout à partir du Moyen âge et de l'exploitation des moines de l'abbaye que cette forêt a pris sa composition actuelle¹⁴.

A l'origine, le pin était localisé dans les zones incultes érodées, dolomitiques, surtout sur les crêtes du massif surplombant St Guilhem.

Il était sous forme rabougrie et c'est seulement lorsque l'homme l'a planté ou favorisé qu'il a pu prendre son allure de futaie en particulier en versant nord où les arbres peuvent dépasser 15 m de haut (fig 14).



(fig. 13) Premières dates Carbone 14 en forêt de St Guilhem le désert (Hérault)

¹² Carrion 2003, Thinin 1992.

¹³ Richard 1974.

¹⁴ Les moines ont sans doute exploité voire replanté la pinède et aussi utilisé intensément le feu alors que les traces d'incendie étaient rares avant le Moyen âge (Vernet et al. 2005).



(fig.14) Aspect originel, en haut, de la pinède de pins de Salzmann : petits arbres se régénérant sur les crêtes dolomitiques. En bas, futaie de 15 m environ provenant d'un aménagement historique (Réserve ONF de la forêt de St Guilhem le Désert).

5.2 Causse Méjean

A l'été 2003, des feux ont considérablement détruit la pinède de pins sylvestres, vers Caussignac (Lozère) en particulier. Dans ce pays de dolines, les charbons migrent vers les dépressions fermées à l'occasion des pluies de printemps et d'automne (fig 15).

Sur cette base la végétation préhistorique du Causse Méjean (fig. 16) a pu être étudiée grâce à de très nombreux charbons présents dans les sols et datés depuis 10 000 ans.

Le Causse Méjean est une montagne sub méditerranéenne, avec des caractéristiques pédoclimatiques qui lui confèrent un grand intérêt en termes de biodiversité : environ 18% de la flore française pour 0.06 % du territoire national;



(fig.15) Une doline encerclée par le feu sur le causse.

19 espèces du causse font partie du Livre Rouge français; fort taux d'endémisme, surtout pelouses sèches (3.6 %) dont 24 phanérogames parmi lesquelles *Gentiana clusii ssp. costei*, *Aster alpinus var. cebennensis*.

En outre, cohabitent de nombreuses espèces rares à l'échelle européenne: *Adonis vernalis*, *Cypripedium calceolus*, *Armeria girardi*, *Saponaria bellidifolia*, *Orchis coriophora ssp. coriophora*, *Ophrys aymonii*...

La partie occidentale est boisée de pinèdes secondaires de pins sylvestres alors que la partie orientale est très herbeuse avec quelques reboisements (fig 17)

Depuis un siècle au moins, le contraste est-ouest a été source de controverses :

- Au début du 20ème siècle, pour la plupart des auteurs les pelouses sèches des causses sont l'héritage de l'ère glaciaire et sont considérées comme des steppes.
- Puis, l'action de l'homme a été soupçonnée : les pelouses représenteraient une succession régressive, depuis la forêt, par les feux et le pâturage.
- On a proposé à l'inverse une évolution progressive, avec pour point de départ la culture, le pâturage étant très secondaire. Cette hypothèse a le mérite d'expliquer le paysage instantané avec ses murets, replats, friches etc.
- Pourtant, seules les conceptions des pelouses obtenues par défriches forestières et pâturage ont été prises en compte par l'aménagement sur

¹⁵ Discussion dans Vernet 2006 notamment

¹⁶ Lorblanchet 1965

le principe du tout forestier en vigueur dans la première moitié du XX^{ème} siècle.

- Le paysage naturel forestier étant détruit par l'homme, la nécessité d'une intervention sylvigène était donc indispensable avec les RTM puis le FFN et les plantations de pins noirs sur 3000 ha entre 1950 et 1980.

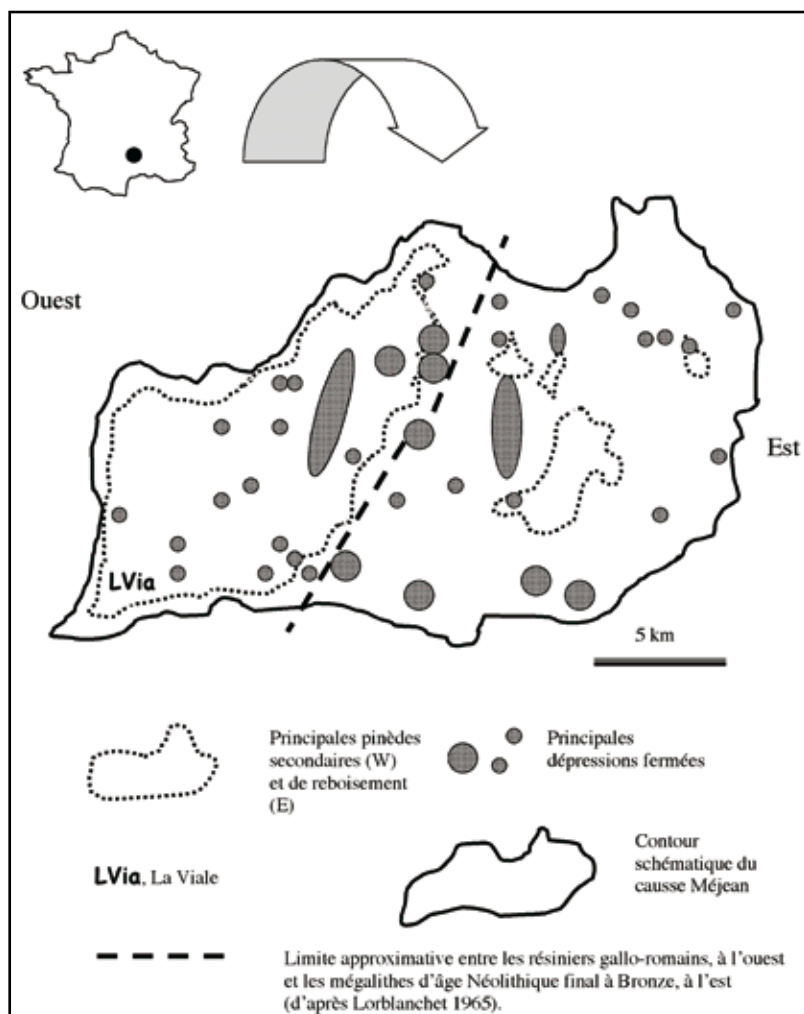
En 1965 Michel Lorblanchet¹⁶ présente une thèse séduisante sur les connexions possibles entre le peuplement préhistorique et la forêt; il se base sur la répartition complémentaire des mégalithes et des résiniers. Selon Lorblanchet, la limite de la forêt de pins daterait de l'époque romaine et pourrait être plus ancienne encore, sur la foi de la distribution complémentaire des mégalithes et des urnes à résines, peut-être du Néolithique final vers 5000 à 4000 BP.

Les très nombreux charbons présents dans les sols

et bien datés¹⁷ corroborent l'hypothèse initiale de Lorblanchet. Le Causse Méjean oriental a bien été boisé par le pin sylvestre. Cette forêt a disparu du fait du feu entre 2000 et 3000 avant le présent et ne s'est pas reconstituée sans doute du fait d'une exploitation agro-pastorale. Des régénérations de hêtre y sont cependant datées après 250 BP. Sans le troupeau, il aurait sans doute conquis la partie orientale du causse.

En outre, ces travaux ont montré que la forêt claire pré steppique à pins, disparue des vallées vers 9000 BP a persisté sur le Causse Méjean jusque vers la mi-Holocène entre 5000 et 3000 BP, sans de meilleure précision aujourd'hui.

A l'ouest, au contraire, la régénération a été meilleure et même si les résiniers gallo-romains y sont pour quelque chose tout n'est pas définitivement éclairci...



(fig.16) le causse Méjean, un archéo paysage.



(fig.17) Contrastes paysagers sur le Causse Méjean, en haut à l'ouest pinèdes secondaires de pins sylvestres ; en bas à l'est et au centre, pelouses rases et reboisements.

¹⁷ Vernet 2006

REFERENCES

- Carrion J.S., 2003. Sobresaltos en el bosque mediterraneo : incidencia de las perturbaciones observables en una escala paleoecologica. *Ecosistemas*, 12 (3), 14 p.
- Clément V., 2004. La France méditerranéenne en feu : retour sur les incendies de forêts de l'été 2003. *Géoconfluences*, brève n°5, 9 p.
- Clément V., 2005. Les feux de forêt en Méditerranée : un faux procès contre Nature , *L'Espace géographique*, 4, pp. 289-304
- Fabre L., 1996. *Le charbonnage historique de la chênaie à Quercus ilex, conséquences écologiques*. Thèse Montpellier II.
- Falcon-Lang, H.J. 2000. Fire ecology of the Carboniferous tropical zone. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, pp.339–355
- Farizier M., 1980. *Recherches sur les macroflores des tufs quaternaires du sud de la France*. Mémoire EPHE.
- Heinz C., 1990. Dynamique des végétations holocènes en Méditerranée nord-occidentale d'après l'anthraco-analyse de sites préhistoriques. *Paléobiologie continentale*, XVI, 2, 212 p.
- Heinz C. et Thiébault S., 1998. Characterization and palaeoecological significance of archaeological charcoal assemblage during Late and post-glacial phases in southern France. *Quaternary Research*, 50, pp. 56-58.
- Jones TP, Chaloner WG., 1991. Fossil charcoal, its recognition and palaeoatmospheric significance, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 97:39-50
- Jonquet A., 1970 : Histoire de l'industrie de la peau et du gant à Millau à travers les siècles, 16 p., Artières et Maury édit. Millau.
Voir aussi le dossier de presse : www.ot-millau.fr/fr/espace_presse/dossier_presse.htm
- Lorblanchet M., 1965. Contribution à l'étude du peuplement des Grands Causses. *Bull. Soc. préhist. Fr.* 3:667-712
- Lumley H. de, 2006. Il y a 400 000 ans : la domestication du feu, un formidable moteur d'hominisation. *C. R. Palevol* 5, pp 149–154.
- Métaillé J.-P. 1981. Le feu pastoral dans les Pyrénées centrales (Barousse, Oueil, Larboust), CNRS édit Toulouse, 292p.
- Richard J.C., 1974. Histoire sommaire de l'abbaye et du village. In : Marres P (ed) Saint-Guilhem-le-Désert et sa région, Maury, pp 70-73
- Rowe N. P. et Jones T.P., 2000. Devonian charcoal. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, pp.331–338
- Scott A.C., 2000. The pre-Quaternary history of fires. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, pp 281–329
- Thiébault S. et Vernet J.-L., 1992. Végétations méditerranéennes et civilisations préhistoriques, le cas de Font-Juvénal. *Bull. Soc. Bot. Fr., actualités bot.*, 2-4, pp. 441-450.
- Thinon M., 1992. *L'analyse pédoanthracologique : aspects méthodologiques et applications*. Thèse Univ. Aix-Marseille.
- Vernet J.-L., 1972. *Contribution à l'histoire et la végétation du sud-est de la France au Quaternaire, étude de macroflores de charbons de bois principalement*. Thèse Doct. Etat, Université Montpellier II, 103 p
- Vernet J.-L., 1975. Les charbons de bois des niveaux mindéliens de Terra Amata (Nice, Alpes maritimes). *C.R. Acad. Sc. Paris*, 280, D, pp 1535-1537.
- Vernet J.-L., 1997. L'Homme et la Forêt méditerranéenne de la Préhistoire à nos jours. Errance éd, Paris
- Vernet J.-L., Ogereau P., Martin A., Bazile F. et Zeraïa L., 2002 . Charbonnage historique et anthropisation de la chênaie d'yeuse (*Quercus ilex* L.), le cas du Causse de l'Hortus (Valflaunès, Hérault). *Annales littéraires, Série Environnement, Presses universitaires franc-comtoises*, pp 423-430.
- Vernet J.-L., 2006. History of the *Pinus sylvestris* and *Pinus nigra* ssp. *Salzmanni* forest in the Sub-Mediterranean mountains (Grands Causses, Saint-Guilhem-le-Desert, southern Massif Central, France) based on charcoal from limestone and dolomitic deposits. *Veget Hist Archaeobot*, 16 : pp 23-42.
- Vernet J.-L., 2007. Jalons pour une éco-histoire de la forêt de St Guilhem le désert. In St Guilhem le Désert et sa région, réédition.
- Vernet J.-L., Meter A, Zeraïa L., 2005. Premières datations de feux holocènes dans les Monts de Saint-Guilhem-le-Désert (Hérault, France), contribution à l'histoire de la forêt relique de *Pinus nigra* Arnold ssp *salzmanni* (Dun.) Franco. *C R. Geosciences*, pp 337:533-537.