

La forêt et l'utilisation des terres dans le bassin méditerranéen en 2050

Les modèles de circulation mondiale *“Global Change”*.

par Henri-Noël Le HOUEROU *

Ce texte est une version abrégée d'un travail original de 80 pages (27 tableaux, 12 figures et 120 références bibliographiques). Pour le texte complet voir "La Météorologie", mars 1991.

Conséquences d'un réchauffement hypothétique de l'atmosphère de $3^{\circ}\text{C} \pm 1.5$

Discussion sur l'éventualité d'un réchauffement atmosphérique

La teneur en CO₂ de l'atmosphère a augmenté d'environ 280 ppmv (parties par million en volume) estimés au début de l'ère industrielle, il y a un siècle et demi à environ 314 ppmv en 1958 au moment où les mesures de surveillance continue ont commencé au Mauna Loa (Keeling & al., 1976). Elle atteint maintenant 360 ppmv. On estime qu'elle atteindrait la

valeur de 600 à 700 ppmv entre 2030 et 2060, selon que la croissance exponentielle annuelle de 4 % se poursuivra ou serait réduite à 2 % (NRC, 1982). De 1958 à 1990, l'accroissement a ainsi été de 46 ppmv soit l'équivalent de 86.9×10^9 tonnes de carbone. Pendant la même période, environ 160×10^9 tonnes de carbone ont été émises dans l'atmosphère par la combustion de carburants fossiles, ce qui constitue plus de la moitié des émissions totales depuis le début de l'ère industrielle au milieu du siècle dernier.

On estime qu'environ 55 % des émissions se déposent au fond des océans et sont fixées par les plantes par la photosynthèse (NRC, 1982). D'autres gaz rares, radiativement actifs, sont également émis dans l'atmosphère : chlorofluorocarbones (CCl_2F_2 et CCl_3F), protoxyde d'azote (oxyde azoteux N_2O), méthane (CH_4), ozone (O_3).

Le comportement thermique du CO_2 est comparable à celui de la vapeur d'eau : il transmet la plus grande partie du rayonnement incident mais absorbe fortement les radiations thermiques réfléchies émises par la surface terrestre. Le doublement du contenu en CO_2 de l'atmosphère augmenterait l'énergie reçue de 4 W/m^2 toutes autres conditions restant égales par ailleurs (NRC, 1982). Ces 4 W/m^2 correspondraient à un réchauffement global de la couche superficielle de l'air d'environ 1°C . Mais il faut y ajouter l'effet combiné des gaz rares dont l'efficacité sur l'effet de serre est très supérieure à celle du CO_2 (10 000 fois pour les CFM, molécule pour molécule) et cet effet ajouterait un 1.0°C supplémentaire, c'est-à-dire doublerait l'effet CO_2 .

* Docteur es-sciences, Ingénieur de recherche CEFE-CNRS
Route de Mende - BP 5051 -
34033 Montpellier cedex

De nombreuses autres rétroactions viendraient s'ajouter : augmentation de l'humidité atmosphérique, dégagement de méthane actuellement bloqué dans les permafrosts des toundras et libéré partiellement par l'élévation de température, la réduction de l'albédo provoquée par la fusion partielle de la banquise, le changement des propriétés optiques des nuages. Un certain nombre de scénarios ont été élaborés à partir d'une trentaine de Modèles de Circulation Globale (MGC) depuis le milieu des années 1970, afin d'essayer de déterminer l'accroissement de température résultant de l'effet de serre. Malgré un certain nombre de divergences plus ou moins mineures, on observe une tendance générale des MCG vers un accroissement de $3^{\circ}\text{C} \pm 1.5$ aux latitudes méditerranéennes pour un doublement de la teneur en CO_2 observée en 1980. Cet accroissement atteindrait 6 à 9°C aux hautes latitudes mais seulement 1 à 2°C vers l'équateur. Nous nous baserons donc sur l'hypothèse d'un accroissement de 3° dans le Bassin Méditerranéen, vers l'an 2050.

Cette hypothèse de travail, cependant, mérite quelques appels à la prudence :

1. Les scénarios issus des modèles de circulation globale ne sont pas des prédictions (et encore moins des prévisions) car, bien qu'ils soient fondés sur les meilleures connaissances disponibles, des incertitudes majeures demeurent concernant un certain nombre de phénomènes et de paramètres importants, par exemple :

- La physique et la chimie de l'atmosphère ;
- Le rôle controversé des aérosols ;
- Les modèles de circulation océanique sont encore très grossiers, or la circulation océanique joue un rôle majeur en climatologie dynamique ;
- La magnitude du rôle de l'océan comme dépotoir (puits = sink) de CO_2 ;
- Les interactions océan-atmosphère et leur impact sur la régulation thermique ;
- Le rôle des changements de nébulosité, de leur profondeur et propriétés optiques ;
- L'évolution de l'émission de CO_2 ;
- Il existe des tests de validation

des modèles sur certains aspects spécifiques ou certains compartiments non sur les interactions entre compartiments ni les interactions globales ;

• La magnitude du rôle du défrichement des forêts et de la végétation en général sur le bilan du CO_2 reste conjectural ;

• L'évolution de l'émission des gaz rares pourra être maîtrisée plus ou moins tôt.

2. L'accroissement de température qui aurait dû se manifester depuis le début de l'ère industrielle ne s'est pas encore produit. La température globale de la basse atmosphère dans l'hémisphère nord a augmenté de 0.5°C de 1900 à 1938, puis elle a diminué jusqu'en 1970 d'environ la même quantité pour augmenter lentement de nouveau depuis. On a observé une tendance inverse dans l'hémisphère sud.

3. Les glaciers sont en expansion dans les Alpes et autres montagnes de moyenne latitude (ce qui ne prouve pas que la température diminue mais peut être que les précipitations augmentent ; mais, pour le moins, cela n'indique pas une élévation globale de température).

4. La maîtrise de la fusion nucléaire, espérée vers 2010-2020, pourrait contribuer à réduire considérablement les émissions de CO_2 .

mais il est actuellement impossible de prévoir combien d'années seront nécessaires pour que la fusion atteigne le stade d'utilisation industrielle.

5. Un certain nombre de physiciens de l'atmosphère et de météorologues contestent les opinions des représentants du courant principal. Citons par exemple, la conclusion d'une publication récente : "**en moyenne globale et annuelle l'effet net des nuages est un refroidissement de la planète parce que l'effet d'albédo (54 W/m^2) est plus important que l'effet de serre (31 W/m^2) de 23 W/m^2** " (Rockner & al., Nature, 329 : 138-140, 1987).

6. Un facteur de refroidissement important mais totalement imprévisible est l'émission dans la stratosphère d'aérosols en provenance d'explosions volcaniques.

7. L'effet d'aérosols indirectement provoqués par l'homme et constitués par les poussières incorporées à l'atmosphère au cours des phénomènes de désertisation est un sujet très controversé, en termes d'impact à la fois sur les températures et les précipitations.

8. L'accroissement de l'albédo dans les zones désertisées pourrait compenser sa diminution lors de la fusion des glaces polaires ou subpolaires.

Conséquences d'une augmentation de température sur les variables climatiques

Les modèles, actuellement disponibles ne fournissent aucune information fiable sur la **saisonnalité d'une élévation éventuelle de la température**. Or, il n'est pas indifférent que l'élévation ait lieu surtout en hiver, ou plutôt en été ou soit, au contraire, plus ou moins uniformément répartie sur l'année. Il est évident que le plus grand impact biologiquement positif serait provoqué par une élévation de température intervenant pendant les saisons de croissance végétale, ou qui permettrait de prolonger celle-ci vers l'hiver. Il n'existe pas non plus de données fiables sur la façon dont serait affectée la variabilité des températures. Il est suspecté que la variabilité serait quelque peu accrue,

mais la tendance n'est pas (encore) quantifiable. En l'absence de données sûres regardant la saisonnalité et la variabilité, nous postulerons que l'accroissement de température serait plus ou moins uniformément répartis sur le cycle annuel et que sa variabilité ne serait pas significativement affectée.

Les modèles de circulation globale ne fournissent pas davantage d'indications sur **l'effet de la croissance de la température sur la pluviosité** ni à l'échelle annuelle ni à l'échelle saisonnière. Or, une augmentation, ou bien une réduction sensible de la pluviosité, pourrait avoir un impact considérable sur la végétation et les cultures. Un accroissement des

pluies estivales pourrait faire basculer certaines régions plus ou moins marginales en dehors de l'aire méditerranéenne, avec des conséquences biologiques et économiques très importantes, y compris sur le tourisme. Les modèles les plus récents indiquent une faible augmentation de la pluviosité au nord de la Méditerranée et une légère diminution au sud, mais sans indication de saisonnalité (Bach, 1988 ; Petrvanov, 1987 ; Wigley, 1987). Nous admettrons l'hypothèse d'une pluviosité sans changements significatifs, ni en quantité, ni en saisonnalité, ni en variabilité.

Les modèles n'indiquent pas non plus explicitement de variation de l'évapotranspiration potentielle. Mais à partir des relations connues entre la température et l'ETP on peut extrapoler de façon raisonnablement sûre l'augmentation de l'ETP correspondant à un accroissement de température moyenne de 3°C. Nous admettrons une augmentation uniforme de l'ETP de 200 mm/an.

Conséquence sur la physiologie et la productivité des plantes : la fertilisation carbonée

Dans les zones où l'eau n'est pas le facteur limitant majeur de la productivité végétale (zones éco-climatiques sub-humide à hyper-humide) la fertilisation carbonée due à une concentration plus élevée de l'atmosphère en CO₂ augmenterait la productivité primaire nette en raison de l'accroissement du rendement de la photosynthèse. Mais il est difficile de prédire l'accroissement global de production primaire, même si les autres facteurs fondamentaux de production tels que l'eau et les nutriments ne sont pas limitants.

On sait que la fertilisation carbonée accroît l'efficacité de la photosynthèse, particulièrement chez les plantes à voie de carboxylation en C₃ (la plupart des espèces



Photo 1 : Forêt dégradée de Cèdres de l'Atlas, Dj. Chelia, Aurès, Algérie.
Photo Henri-Noël Le Houërou

méditerranéennes appartiennent à ce type). Les expériences effectuées en chambre de croissance et en serre montrent une production de biomasse accrue de 30-65 % et parfois plus avec une teneur de l'atmosphère de 600-700 ppmv et au-dessus, c'est-à-dire la concentration probablement atteinte vers le milieu du siècle prochain (Lemon, 1983 ; Mortensen, 1983 ; Bolin 1983 ; Houghton, 1986 ; Trabalka & Reichle, 1986 ; Crane, 1985 ; Shugart & al. 1985 ; Morison, 1985). Mais le taux d'accroissement du produit final utile tel que grains de céréales peut être très inférieur à l'accroissement global de biomasse et de production primaire. En effet, l'allocation des photosynthats supplémentaires obtenus n'est pas uniformément effectuée sur l'ensemble des tissus végétaux. Les facteurs et les mécanismes qui règlent cette attribution sont très mal connus. Si bien qu'une augmentation possible de 10 % de la production agricole nous paraît, pour l'instant, une estimation quelque peu arbitraire mais prudente de l'impact global de la fertilisation carbonée.

Il a été aussi démontré que la fertilisation carbonée augmente l'efficacité de l'utilisation de l'eau, peut-être jusqu'à 30-50 % (Morison, 1985). Ce fait pourrait ainsi compenser l'élévation de l'ETP, résultant de l'accroissement de température. Ce dernier accélèrera l'oxydation et la minéralisation de la matière organique du sol, d'où un taux de renouvellement plus élevé

des éléments géobiogènes (N,P,K,Ca,Mg,S,Fe, Cu,Mn,etc.), donc de la fertilité, donc de la production agricole à court terme. On peut donc imaginer un accroissement minimum de la production agricole de l'ordre de 20 à 30 %, comme résultat global de l'impact à la fois de la fertilisation carbonée et de l'accroissement de température sur la production agricole en zone méditerranéenne sub-humide à hyper-humide, toutes les autres conditions restant égales par ailleurs.

Conséquences sur la végétation naturelle

Une augmentation de la température moyenne de 3°C provoquerait, en principe une migration en altitude des ceintures de végétation de $3^{\circ}\text{C} \times (100 \text{ m}/0.55^{\circ}\text{C}) = 545 \text{ m}$.

L'évolution de la composition botanique et de la structure des groupements végétaux ne serait évidemment pas soudaine ni brutale, encore moins ainsi que l'élévation éventuelle de la température ; elle procéderait peut être par paliers à l'occasion d'événements exceptionnels comme des sécheresses prolongées. Certains types de végétation seront plus sensibles aux changements thermiques que d'autres. Les espèces

sensibles étant celles qui se trouvent en limite d'aire par rapport au facteur considéré. Il est probable que l'évolution du tapis végétal en réponse à l'élévation de température sera également influencée par l'impact anthropozoïque dont la nature et l'intensité peuvent créer un avantage ou bien un inconvénient sélectif à telle ou telle espèce en tel ou tel lieu.

A quelle allure dans le temps se ferait cette évolution du couvert

végétal naturel ? C'est très difficile à dire. Mais si l'on se réfère à ce qui s'est passé au cours des fluctuations climatiques holocènes, bien connues grâce aux récents acquis de la palynologie et de la radiochronologie, il semble que l'unité de mesure des changements globaux dans le temps soit de l'ordre du siècle, ou un peu moins, dans le cas d'évolutions rapides et du millénaire pour ce qui concerne les évolutions lentes.

Conséquences sur la répartition des cultures et leur rendement

Dans le Nord du Bassin

Comme dans le cas de la végétation naturelle, les cultures sensibles au froid pourront s'étendre en altitude et en latitude. Mais l'oléiculture se restreindra probablement en Europe, en dépit d'un climat plus favorable, pour des raisons socio-économiques notamment du coût de la main d'œuvre et des difficultés de la récolte mécanique ; cette tendance existe depuis les années 1960 et va très probablement en s'amplifiant notamment en Grèce, en Italie et en Espagne. L'oléiculture sera pratiquée de façon intensive à l'irrigation avec des clones de petite taille. Les vastes olivettes actuelles retourneront au pâturage, à la forêt ou à l'arboriculture fruitière ou à la vigne.

Les cultures commerciales de *citrus* sont actuellement cantonnées au sud de la Grèce, de l'Italie, de l'Espagne et du Portugal, au sud de la latitude 40°N, environ. Une augmentation de 3°C de la température rendrait ces cultures praticables sur de grandes superficies des plaines côtières jusqu'aux latitudes de 45-46°N et jusqu'à une altitude de 600-800 m entre les latitudes de 35 à 40°N, toutes zones d'où elles sont actuellement exclues par le gel. Les vergers d'agrumes représentent actuellement quelques 250 000 hectares en Europe et produisent environ 8.5 millions de tonnes par an. Cette superficie pourrait se multiplier par 3, sans problème dans l'hypothèse d'un relèvement des températures hivernales de 3°C. La production ainsi obtenue couvrirait bien au-delà de la consommation de l'Europe de l'Ouest et fermerait ce marché à la production citricole des pays du sud. Cette dernière occupe également environ 250 000 hec-

tares et produit 5 millions de tonnes. Il en résulte qu'une proportion importante des cultures de *citrus* devrait se reconvertis au sud en cultures plus sensibles au froid qui ne pourraient pas être commercialement développées en Europe sur de grandes surfaces (avocats, bananes, mangues, papayes, goyaves, ananas, cannes à sucre et autres cultures tropicales). Mais, d'autre part, l'ouverture, des marchés de l'Europe de l'Est pourrait compenser pour le Sud la perte des marchés des *citrus* en Europe de l'Ouest.

Les cultures horticoles seraient probablement peu affectées car une grande proportion de celles-ci est produite en agriculture contrôlée ou protégée (serres, etc.). Cette proportion croîtra pour englober virtuellement toutes les cultures maraîchères et florales tant au Nord qu'au Sud du Bassin.

Les cultures annuelles sous pluie telles que les céréales seraient fortement affectées en zone aride et semi-aride (Espagne, Grèce).

Mais l'augmentation de l'ETP en zone aride et semi-aride risque de marginaliser la culture céréalière en particulier sur les sols rouges peu profonds sur croûte calcaire (oxysols) qui couvrent de vastes superficies céréalières en Grèce, en Espagne et dans le Sud de l'Italie, probablement aux alentours de 8 millions d'hectares entre les isohyètes de 350 à 550 mm de pluviosté moyenne annuelle. Dans ces zones, la céréaliculture est déjà marginale avec des rendements représentant une valeur sensiblement équivalente ou légèrement supérieure au coût de production (1). Si, comme il est prévu dans la politique agricole de la CEE, le prix européen des céréales s'aligne progressivement sur le cours mondial (il est actuellement supérieur d'environ 40 %), ces 8 millions d'hectares devront nécessairement être reconvertis à d'autres activités (arbres fruitiers, plantations forestières, élevage de gibier, chasse commerciale, pâturages).

Dans le Sud du Bassin

La culture aléatoire des céréales en zone aride avec des

(1) Le rendement en blé ou en orge y est de l'ordre de 800 à 1200 kg/ha/an pour un prix de revient correspondant à la production de 600-800 kg, au cours actuel dans la CEE.



Photo 2 : Forêt dégradée à Genévrier thurifère, Aurès, Algérie.

Photo H.N.L.H.



Photo 3 : Guarrigue dégradée, steppisée à Genévrier de Phénicie, romarin alfa, Aurès, Algérie.
Photo H.N.L.H.

espérances de récolte de 20 à 25 % continuera de s'étendre jusqu'aux limites du désert sur tous les sols susceptibles d'être labourés, c'est-à-dire tous sauf les affleurements géologiques de roches dures, les dépressions salées et les dunes. Les parcours seront limités aux collines pierreuses et aux marécages salés. Cette extension est le résultat obligatoire de l'explosion démographique. La frange la plus aride deviendra un désert climatique ; la partie inférieure de la zone semi-aride deviendra aride. Comme en zone aride, et pour les mêmes raisons, la plus grosse partie de la végétation naturelle sera détruite par les défrichements, la recherche du bois de feu et le surpâturage des troupeaux et ceci quelle que soit la pente des terrains

ou les dangers d'érosion. Etant donnée l'intense pression anthropozoïque on ne voit pas comment la réglementation forestière pourrait continuer à s'appliquer. Ces processus se sont développés depuis plusieurs décennies, mais la croissance exponentielle de la pression de l'homme et de ses animaux ne pourra que les exacerber.

En résumé

Dans le nord du Bassin, les forêts et les formations arbustives s'étendront considérablement en raison de l'abandon des terres de cultures marginales et de l'exode rural. Mais les feux de forêts et de broussailles continueront de croître exponentiellement (4.7 % par an de 1960 à 1987), imposant un lourd fardeau financier aux com-

munautés territoriales (650 000 hectares brûlés en moyenne annuelle de 1980 à 1986 pour un coût annuel de 1 milliard d'Ecus. Les terres cultivées régresseront et de vastes superficies de cultures céréalières seront reconvertis en plantations forestières, fruitières, pâturages et élevage de gibier.

Dans le sud du Bassin, la culture aléatoire des céréales actuellement pratiquée dans les zones arides s'étendront aux zones semi-arides, la plupart des forêts et des formations arbustives seront détruites par le défrichement, la cueillette du bois de feu et le surpâturage des troupeaux. L'extension de la zone aride sur la zone semi-aride atteindra sans doute 100 000 km² et les déserts anthropogènes empièteront sur environ 600 000 km² de steppes arides.

Conséquences sur l'érosion, la sédimentation et sur l'hydrologie

Au Nord

Les conséquences indirectes d'un accroissement éventuel de la température sur l'érosion et la sédimentation seront diamétralement opposées dans le Nord et le Sud du Bassin. Dans le Nord, en raison de l'extension des forêts et des formations arbustives aux dépens des terres marginales, l'érosion et la sédimentation, déjà modérées (sauf exceptions comme le Sud des Apennins ou le Sud-Est de l'Espagne) seront progressivement contrôlées. Ces régions évolueront alors, en dépit des vastes zones affectées par les feux sauvages, vers un état de biostasie (Erhard, 1956) caractérisé par une très faible érosion physique et virtuellement plus de sédimentation détritique.

Au Sud

L'érosion au sud pourrait croître suite à la déforestation et à la mise en culture généralisée. La sédimentation augmenterait considérablement entraînant des inondations. Ces régions évolueront vers un état de rhéostasie.



Photo 4 : Steppe secondaire de dégradation forestière à Armoise champêtre, sparte et astragale épineuse de numidie, Aurès, Algérie.
Photo H.N.L.H.

Population. Situations démographiques et socio-économiques et leurs conséquences sur la végétation naturelle et l'utilisation des terres

Dans les pays méditerranéens afro-asiatiques

La croissance démographique dans le sud a été en moyenne de 3.2 % par an depuis 1950, soit une croissance exponentielle de 2.8 % (période de doublement : 25 ans). La population atteignait environ 44 millions d'habitants dans les 14 pays en 1900 (94 millions en 1950) ; elle atteint maintenant 290 millions. Le taux de croissance est resté inchangé depuis 1950. Les projections basées sur le même taux sont les suivantes (en millions) :

2 000	2 010	2 020	2 030	2 040	2 050
372	486	637	836	1 100	1 450

Nous avons calculé des projections à 3 niveaux :

haut	(3,5 % par an),
moyen	(2,8 %)
et bas	(2,2 %).

Les résultats respectifs atteignent 1950, 1500 et 800 millions d'habitants pour 2050. Le premier et le dernier chiffre sont assez peu probables mais le chiffre moyen a toute chance de présenter un ordre de grandeur réaliste.

Dans les pays euro-méditerranéens

Au nord du Bassin, la croissance démographique actuelle est de 0.5 % par an. Elle a évolué de 115 millions de personnes en 1900 à 150 millions en 1950 et 200 millions aujourd'hui. Le rapport de populations nord/sud était de 2.6 en 1900, 1.6 en 1950 et 0.7 aujourd'hui, il sera de 0.6 en l'an 2000 et probablement 0.2 en 2050.

Conclusions

Dans les pays euro-méditerranéens

L'impact d'un doublement du contenu de l'atmosphère en CO₂ à 700 ppmv vers le milieu du siècle prochain serait modéré et contrôlable dans le nord du Bassin et globalement positif : accroissement de la production primaire, extension des cultures sensibles au froid, développement probablement accéléré de l'industrie touristique et de l'agriculture marine. La culture des céréales serait éliminée de 8 à 10 millions d'hectares ; ces superficies devraient être reconvertis à d'autres activités :

plantations forestières et fruitières, élevage, chasse, tourisme, usages multiples et aménités diverses.

Les superficies boisées croîtront de 53 à 76 millions d'hectares si le rythme actuel d'évolution de 0.7 % par an se soutient dans les 60 années à venir, comme il l'a fait depuis 40 ans. Le taux d'afforestation croîtrait des 29 % actuels à 47 % en l'an 2050. Si le taux actuel de réduction des terres cultivées se poursuit (0.4 % par an), elles ne dépasseront pas 50 millions d'hectares contre 67 millions aujourd'hui.

Les régions côtières vouées au

tourisme seront soumises à un impact très important de cette activité. La fréquentation croît en moyenne de 5.6 % par an (7 % en France) (Baric & Gasparovic, 1988). Elle atteint plus de 106 millions de visiteurs en 1986 : 36 millions en France, 30 en Espagne, 25 en Italie, 8 en Yougoslavie. La fréquentation touristique atteindrait, au rythme actuel de croissance, 220 millions de visiteurs en l'an 2000. Ce rythme de croissance n'a pas faibli depuis 20 ans. La fréquentation touristique au sud est actuellement (1986) un peu inférieure à 10 % de celle du nord (Maroc 2.2 millions, Turquie 2.0, Egypte 1.7, Tunisie 1.7, Israël 1.2, Syrie 1.1, Chypre 0.9).

L'impact touristique n'est pas seulement fort sur une étroite bande littorale d'environ 5 km de large (urbanisation touristique), il a aussi contribué significativement à l'accroissement exponentiel des superficies de forêts et garrigues brûlées chaque été, puisque près de la moitié des incendies d'origine inconnue, c'est-à-dire 25 % du total, prennent naissance à moins de 20 mètres d'une voie de communication dans le midi de la France (Le Houérou, 1973).

La végétation évoluerait lentement vers des formations plus thermophiles et plus sclérophylles (olivier, caroubier, chêne kermès). Le chêne vert, par exemple, s'étendrait, en principe, au détriment du chêne pubescent, bien qu'on assiste plutôt à l'inverse actuellement. Mais rien n'est moins sûr ; car même si la température augmentait, l'impact anthrozoïque diminue, ce qui aboutit à une évolution des sols vers des types plus riches en matière organique, plus "mésiques" et donc mieux tamponnés climatiquement et ceci peut compenser cela, et même au-delà. C'est en tout cas ce qu'on observe actuellement, en l'absence, il est vrai, d'un accroissement systématique de la température à ce jour. Mais, tant que la répartition saisonnière des précipitations demeure inchangée, on ne peut s'attendre à un bouleversement des limites septentrionales de la région méditerranéenne.

Les inconvénients majeurs semblent devoir être le relèvement du niveau de la mer de 20 à 60 cm (Corre & al., 1988) et l'accroissement considérable des incendies de forêt.



Photo 5 : Steppe désertisée avec de rares reliques de compagnies forestières, versant sud de l'Aurès, Algérie.

Photo H.N.L.H.

Ces deux aspects négatifs sont contrôlables, mais à des coûts élevés ; ces coûts semblent pouvoir être amortis par l'accroissement considérable du tourisme et l'émigration vers la zone euro-méditerranéenne d'industries de technologie avancée, d'instituts de recherches, des centres de décision. On s'achemine donc, semble-t-il, vers un rééquilibrage économique entre le Nord et le Sud de l'Europe, sans parler de l'Europe Orientale.

Dans les pays méditerranéens afro-asiatiques

La situation actuelle contraste fortement avec celle des pays euro-méditerranéens et ce contraste s'accuse de plus en plus rapidement à la fois des points de vue de l'utilisation des terres, de l'évolution de la végétation naturelle, de la démographie et de l'économie.

L'impact du CO₂ et de l'accroissement de température sera extrêmement important et négatif, non pas tant par ses conséquences directes, mais parce qu'il agrava encore l'impact déjà catastrophique de l'explosion démographique. Cet impact combiné atteindra des proportions de magnitude géologique majeure. La population se sera multipliée par un facteur de 8.5 au cours du 20ème siècle ; elle se multipliera par un facteur supplémentaire de 24.5 d'ici à 2050, soit une multiplication par 33 en 150 ans.

L'ensemble des terres non désertiques des 14 pays considérés représente 1.5 millions de km² pour une superficie totale de 11.3, c'est-à-dire 13 %. La densité de population des territoires non désertiques a évolué comme suit (en habitants par km²) :

1900	1950	1960	1970	1980	1990
29	62	82	108	142	189

Elle atteindra près de 250 en l'an 2000 et entre 500 et 1000 en 2050. Les densités atteintes en 2050 sont quasi-urbaines et incompatibles, étant donnée la structure économique et sociale de ces pays, avec le maintien de quelque végétation naturelle que ce soit. Au cours des trois dernières décennies, les superficies de terrains boisés ont reculé de 1 à 2 % par an. Les steppes et les parcours de zone aride ont été détruits à plus de 50 % au cours des 40 dernières années, soit un recul de 1.15 % par an, avec une extension des zones désertisées sur la marge des déserts climatiques à un rythme de 1 à 2 % par an (chiffres déduits de plusieurs études de détail réparties en Afrique du Nord et au Proche-Orient sur des superficies de plusieurs centaines de milliers d'hectares, combinant les techniques d'observation de terrain et de la télédétection, donc irréfutables). Vers l'an 2050, il semble que seule la Turquie et peut être le Maroc, parmi les 14 pays concernés, posséderont encore des surfaces boisées. Virtuellement, toutes les

terres, sauf les déserts climatiques, les affleurements géologiques de roches dures, les dunes et les dépressions fortement salées, seront cultivées en vue de la culture aléatoire (dite de subsistance) de céréales. L'érosion, les inondations et la sédimentation prendront les dimensions catastrophiques de plus en plus fréquentes au fur et à mesure que la dégradation du milieu et de la végétation s'accélérera au rythme de l'explosion démographique. Tout éventuel changement climatique ne pourrait avoir que des conséquences dérisoires au regard des conséquences écologiques de l'évolution démographique.

H.-N. L.-H.

Résumé

Selon les modèles de circulation globale (MCG) actuellement disponibles dans la communauté scientifique mondiale, l'effet de serre induit par le doublement de la teneur actuelle de l'atmosphère en CO₂ (360 ppmv) et autres gaz "réchauffants" (chlorofluorocarbones, méthane, ozone, N₂O, etc.) devrait entraîner une augmentation de la température de 3°C ± 1.5 dans la région méditerranéenne vers 2030-2050.

Ces scénarios rencontrent une large acceptation, sinon un consensus, parmi les physiciens de l'atmosphère, les météorologues, les climatologues et les modéleurs. Mais un scénario n'est pas une prédition et encore moins une prévision. De fait, l'accroissement de température (d'environ 0.8°C) qui aurait dû se manifester suite à l'accumulation de CO₂ dans l'atmosphère depuis le début de l'ère industrielle (de 280 à 360 ppmv) ne s'est pas encore produit à ce jour. En dépit de cette réserve la présente étude se fonde sur une augmentation probable de la température de 3°C dans le bassin méditerranéen au cours des 50 à 60 ans à venir.

Mais les modèles disponibles ne fournissent aucune précision fiable sur la répartition saisonnière de ce changement possible de température qui cependant aurait un impact considérable selon que cette augmentation serait surtout hivernale, estivale ou plus ou moins uniformément répartie tout au long de l'année. Nous postulerons ici

une augmentation uniforme au cours de l'année.

Les modèles établis à ce jour n'indiquent pas non plus de façon fiable les conséquences de l'effet du CO_2 ou de l'effet de serre sur la pluviosité ; certains modèles envisagent une légère augmentation des précipitations, d'autres une légère diminution ; nous ne considérerons donc aucun changement ni en quantité ni en répartition saisonnière des pluies. Les principales conséquences de ces hypothèses sont :

1 - L'accroissement de l'évapotranspiration potentielle d'environ 200 mm par an.

2 - L'accroissement de la production primaire résultant de la "fertilisation carbonée" là où l'eau ne constitue pas un facteur limitant.

3 - L'élévation du niveau de la mer de 20 à 60 cm.

4 - La remontée en latitude et en altitude des ceintures de végétation (550 km et 550 m, respectivement) ainsi que des cultures sensibles au froid (citrus, olivier, avocat, etc.).

5 - Dans les zones arides et semi-arides les conséquences seront plus importantes du fait de l'augmentation de l'ETP, donc de l'aridité si la pluviosité n'augmente pas. On peut ainsi s'attendre à l'abandon d'une grande partie des cultures de céréales en zone aride et semi-aride dans la partie nord du Bassin (Espagne, Sud de l'Italie, Grèce) ; mais cet abandon devrait intervenir de toutes façons, en l'absence d'évolution climatique, pour des raisons économiques liées à l'évolution de la politique agricole à l'intérieur de la CEE (la "déprise").

6 - Dans le sud du Bassin l'effet de l'augmentation de température sera considérable dans les zones arides et semi-arides qui y couvrent d'immenses surfaces. Il conduira une très forte accélération des phénomènes de désertisation ; celle-ci affectera pratiquement toute la zone aride et une grande partie de la zone semi-aride.

Mais, dans le sud de la Méditerranée, l'effet d'une possible modification du climat sera, en toute hypothèse, gommée par les conséquences de l'explosion démographique. Les pays du sud, de la mer Caspienne à l'Atlantique, avaient une population d'environ 40 millions d'habitants en 1900 ; ils en ont actuellement 290 millions, ils en auront 370 millions en l'an 2000. En l'an 2050, la population de cette zone atteindra 850 millions dans l'hypothèse la plus optimiste (accroissement exponentiel de 2.2 % par an) et 1950 millions dans l'hypothèse la plus pessimiste (3.5 % par an).

Ce triplement (ou cet heptuplement !) en 60 ans aura nécessairement les conséquences les plus graves sur l'environnement. Les forêts, les garrigues et les maquis, qui s'accroissent actuellement de 1.5 % par an au nord et décroissent de 2 % au sud, auront virtuellement disparu au sud du Bassin vers le milieu du siècle prochain, et probablement avant cette date. Toutes les terres et les substrats friables seront cultivés pour tenter de faire face à des besoins alimentaires croissant de façon exponentielle de 3.2 % par an, rythme qui n'a pas décéléré depuis 40 ans. Les pays du sud qui importent actuellement près de 50 % de leur consommation alimentaire devront en importer au moins 80 %.

Par suite de l'extension continue des cultures à des zones inappropriées et de l'élimination de la végétation naturelle, l'érosion hydrique et éolienne prendront des proportions gigantesques, telles qu'on peut déjà les constater dans des zones limitées à forte densité de population ; les inondations et la sédimentation constitueront des catastrophes de plus en plus fréquentes.

L'impact de l'homme se manifestera donc par une évolution des écosystèmes vers l'équilibre au nord du Bassin et une période de désorganisation et dégradation des écosystèmes au sud. L'homme devient ainsi un agent géologique de première grandeur dans cette partie du monde, provoquant une sédimentation de l'ordre de 1 mm par an sur le plancher de la Méditerranée (1000 m par million d'années), au lieu des 0.2 mm actuellement estimés.

Summary

According to the presently available scenarios the green house effect resulting from the accumulation of CO_2 and other warming gases (Chloro Fluoro Carbons, Methan etc.) the temperature of the Mediterranean Region is assumed to increase by $3^\circ C \pm 1.5$ by the mid 21 th century. This scenario meets a consensus among atmospheric scientists, climatologists and modellers. But it should be remembered that a scenario is in no way a prediction (the increase in temperature that should have happened since the beginning of the industrial period did not actually occur, as yet ; and there may be some counteracting mechanisms as well, such as the increase of aerosols (particulates) in the atmosphere, whose global impact is still a controversial issue).

In the present prospective study we have assumed a mean annual temperature increase of the order of

magnitude of $3^\circ C$. Presently available models do not provide any reliable assumption on the seasonal change in temperature. Whether the change would mainly occur in winter or in summer, or would be evenly spread over the whole year would obviously have quite different and significant impacts on natural vegetation and crop nature and patterns.

The model scenarios available in late 1987 do not provide any reliable information either on changes in rainfall, according to some models rainfall would slightly increase in the Mediterranean while in some others it would decrease ; again, changes in seasonal rainfall distribution patterns have not been clearly stated. Such changes would, no doubt, have significant impacts according to the amount of change and its seasonal distribution. We shall therefore assume there will be no significant change, neither in the amount of mean annual rainfall nor in its seasonal distribution pattern.

As a consequence of these assumptions mean annual evapotranspiration would increase by 180-220 mm, depending on the method of calculation ; say an average 200 mm more or less evenly spread over the annual 12 months. This would correspond to an increase of about 17 mm/month in potential evapotranspiration. The impact on natural vegetation and crops would be slight, but it could be significant in areas where climatic or soil conditions are marginal for such or such type of vegetation or such and such crop. One may also expect a slight shift in vegetation belts due to increasing aridity and an expansion of Desertization on the margins of the Sahara and of the Near-Eastern Deserts. But this will happen anyway as a result of the exponential demographic growth irrespective to climate change ; the climatic change would only exacerbate the phenomenon.

Change in winter temperature would have a very significant impact in areas where this factor is limiting to plant growth, that is in Most of Mediterranean Europe and the highlands, montane and continental areas of Northern Africa and the Near East. It would, for instance, increase the areas of cultivation of cold-sensitive crops such as Olive, Citruses, winter cereals, vegetables. There would be a slight upward and northward shift in vegetation belts. These changes can - and will - be quantified in terms of acreage concerned.

The economic impact may be quite significant, for instance if Citruses could be grown over sizeable areas in southern Europe it would probably close the market for the import of these products from Northern Africa and the Near East, which then would have to shift large areas of irrigated

land to more tropical crops that could not be grown in Europe, such as Banana.

Finally the change in vegetation and crop patterns induced by the raise of temperature will be slight as compared to the change induced by the exponential population growth in the south and in the east of the Basin. The twelve developing countries to the East and South of the Mediterranean Sea had a total population of about 30 million people at the beginning of this Century ; they reached almost 100 million by 1950, raised to 185 million in 1975 ; they number 275 million to day. By the year 2000 they will reach the figure of 400 million, irrespective to any possible corrective means that might be taken to curb the explosion. If the present growth remains unabated for the next generation the total population of these areas will fetch the figure of 1.6 billion by the year 2050.

Any foreseeable change in temperature would then have an almost negligible impact on the environment as compared to this demographic explosion.

Resumen

Según los modelos de circulación global (MCG) disponibles actualmente dentro de la comunidad científica mundial, el efecto de estufa inducido por el doblamiento del tenor actual de la atmósfera en CO₂ (360 ppmv) como también de otros gases "acalorantes" (clorofluorocarbonos, metanos, ozona, N₂O etc...) debería llegar a dar un aumento de la temperatura de 3°C +/- 1,5 en la región mediterránea hacia 2030 - 2050.

Mismo si no es un consenso, aceptan ampliamente esos escenarios los físicos de la atmósfera, los meteorólogos, los climatólogos y los modeladores. Pero esos escenarios no son una predicción y menos aún una previsión. De facto, el aumento de la temperatura (a vuelta de 0.8°C) que se debería ter manifestado después de la acumulación del CO₂ en la atmósfera desde el principio de la era industrial (de 280 a 360 ppmv) no se ha producido aún. Apesar de esta reserva este estudio se apoya sobre

una aumento posible de la temperatura de 3°C en la cuenca mediterránea durante los 50 a 60 años a venir.

Pero los modelos disponibles no nos proveen ninguna precisión fiable sobre la repartición estacional de ese cambio de temperatura posible que tendría un impacto considerable conforme se manifestaría ese aumento, o sobre todo en invierno o en verano o repartido más o menos uniformemente a lo largo del año. Postularemos aquí un aumento uniforme a lo largo del año.

Los modelos establecidos hasta hoy no indican tampoco de manera fiable las consecuencias del efecto de estufa sobre la pluviosidad; algunos modelos enfocan un ligero aumento de las precipitaciones, otros una ligera disminución; pués no consideraremos ningún cambio ni en cantidad ni en repartición estacional de las lluvias.

Las principales consecuencias de esas hipótesis son:

1. El aumento de la evapotranspiración potencial a cerca de 200 mm por año.

2. El aumento de la producción primaria que resulta de la "fertilización carbónea" ahí donde no constituye el agua un factor limitante.

3. La elevación del nivel del mar de 20 a 60 cm.

4. La subida en latitud y en altitud de las cinturas de vegetación (550 km y 550 m respectivamente) así como de los cultivos sensibles al frío (citrus, olivo, aguacate...).

5. En las zonas áridas y semiáridas serán más importantes las consecuencias debido a la aumento del ETP, o sea de la aridez si la pluviosidad no aumenta. Así, podemos esperarnos al abandono de una grande parte de los cultivos de cereales en zona árida o semiárida en los países del norte de la cuenca mediterránea (España, Italia del sur, Grecia); pero de todas maneras debería intervenir ese abandono, mismo sin ninguna evolución climática por razones económicas ligadas a la evolución de la política agrícola de la CEE.

6. En los países del sur de la cuenca mediterránea será considerable el efecto del aumento de la temperatura en las zonas áridas y semiáridas que cubren superficies imensas. Llevará a una fuerte acelera-

ración de los fenómenos de desertificación que afectará casi toda la zona árida y una grande parte de la zona semiárida.

Pero, en el sur del mediterráneo, el efecto de una posible modificación del clima será sin duda anulada por las consecuencias de la explosión demográfica. Los países del sur, desde el mar Cárpio hasta el Atlántico, contaban una población de 40 millones de habitantes en 1900; actualmente se cuentan unos 290 millones, y en el año 2000 serán unos 370 millones. En el año 2050, la población de esta zona llegará a 850 millones en la hipótesis más optimista (crecimiento exponencial de 2.2 % por año) y 1959 millones en la hipótesis más pesimista (3.5 % por año).

Esta triplicación en 60 años tendrá necesariamente las consecuencias más graves sobre el medio ambiente. Los bosques, los eriales y los matorrales que van aumentando actualmente de 1.5 % por año al norte y disminuyendo de 2 % en el sur, habrán virtualmente desaparecido en el sur de la cuenca a mediados del próximo siglo y probablemente antes de esta fecha. Se cultivarán todas las tierras necesidades alimentares que crecen de manera exponencial de 3.2 % por año, ritmo que no se ha aflojado desde 40 años. Ya, los países del sur importan actualmente cerca de 50 % de la consumación alimentar tendrán que importar por lo menos 80 %.

A consecuencia de la extensión continua de los cultivos en zonas inapropiadas y de la eliminación de la vegetación natural, la erosión hídrica y eólica llegarán a unas proporciones gigantescas, como se puede ya constatar en zonas limitadas de fuerte densidad de población; las inundaciones y la sedimentación constituirán catástrofes cada vez más frecuentes.

Pues se manifestará el impacto del hombre por una fase de estabilidad en la evolución del relieve, donde la ausencia de erosión está ligada a una cubierta vegetal en el sur.

Así llegará a ser el hombre un agente geológico de primera importancia en esa parte del mundo, provocando una sedimentación de orden de 1 mm por año en el suelo del mediterráneo (1000 m por millón de años), en vez de los 0.2 actualmente estimados.