CHANGEMENTS GLOBAUX ET DÉVELOPPEMENT

JACQUES FONTAN

Pour parvenir à cesser d'opposer artificiellement contraintes liées à la préservation de l'environnement planétaire et nécessité du développement des pays les moins développés, il faut que les chercheurs qui travaillent dans chacun des deux domaines coopèrent.

La conférence des Nations Unies sur l'environnement de Rio en juillet 1992, ou sommet de la Terre, est considérée comme ayant fait faire un progrès important, dans la prise de conscience des risques que les activi-

RÉSUMÉ : Changements globaux et développement

Environnement et développement sont maintenant associés car les risques de modifications à grande échelle de notre planète, ou "changements globaux" sont augmentés par le développement des Pays du Sud, qui devra se faire avec le concours des pays industrialisés, principaux responsables des altérations globales actuelles. L'environnement planétaire doit être protégé grâce à un développement durable des pays pauvres.

L'objectif de cet article n'est pas de souligner les dégradations à l'environnement venant ou pouvant venir dans le futur des pays du Sud, ni de discuter des mesures que devront prendre les pays industrialisés pour limiter les agressions qu'ils apportent à la planète, mais de montrer sur quelques exemples que les changements globaux peuvent résulter d'agressions ayant d'abord des effets locaux ou régionaux susceptibles de compromettre le développement des pays pauvres. Environnement global, mais aussi régional ou local et développement sont ainsi parfois très liés et les programmes de recherche sur ces thèmes, qui ont été menés séparément jusqu'à aujourd'hui doivent maintenant converger. Des exemples de thèmes où existent des possibles sujets communs de recherche sont envisagés, mais ils ne sont bien sûr pas limitatifs. Ce travail veut ainsi contribuer à amorcer des discussions ayant pour objet de faire converger sur certains points les programmes de recherche sur les changements globaux et sur le développement.

tés humaines font courir à notre planète. Les 179 pays représentés ont reconnu les liens indissociables entre développement et environnement. C'est le début d'un processus qui devrait se concrétiser dans le futur, avec une véritable gestion de la Terre. M.F. Strong, secrétaire général de la conférence, comparant celle-ci à la Révolution française et à ses conséquences, indique que le sommet de la Terre est comparable à la prise de la Bastille.

LES CHANGEMENTS GLOBAUX

Les dégradations de l'environnement auxquelles on était sensible jusque vers 1970, étaient essentiellement celles qui concernaient l'échelle locale, c'est à dire la pollution de l'air des villes, des sites industriels, la pollution de l'eau par les industries, etc. À partir des années soixante-dix, s'est opérée la prise de conscience que les effets de la pollution se manifestent à de plus larges échelles : au niveau régional avec l'acidification des précipitations, la pollution des rivières et des grands fleuves ; la pollution devient transfrontalière. Elle devient globale avec l'augmentation de la concentration du gaz carbonique (CO_2) dans l'atmosphère, montrée par les mesures effectuées de façon systématique à partir de 1958 à l'observatoire de Mauna Loa à Hawaii et confirmée depuis par bien d'autres mesures. La concentration de ce gaz a augmenté d'environ 25 % au cours des deux cents dernières années, dont 10 % depuis trente ans. Le taux de croissance annuel a été de 0,44 % au cours de la décennie 1970-1980, mais il peut varier d'une année sur l'autre en

Résumé en anglais p. 152

raison vraisemblablement de changements dans l'intensité des échanges avec les océans et la biosphère continentale, mais aussi de l'existence de rejets difficiles à estimer qui ne proviennent pas uniquement des combustibles fossiles. C'est un gaz à effet de serre (il absorbe une partie du rayonnement infrarouge (I.R.) émis par la terre et l'atmosphère, l'empêchant de s'échapper vers l'espace). Les modèles atmosphériques dans lesquels on introduit un doublement de la concentration actuelle du CO_2 confirment les premières prévisions d'Arrhenius (1896), c'est-à-dire le risque d'une augmentation de la température moyenne à la surface du globe et donc des modifications climatiques. Cette augmentation, suite à un doublement de la concentration, pourrait d'après les modèles être comprise entre 1,5 et 4,5° C. Au gaz carbonique sont venus s'ajouter d'autres gaz à effet de serre comme le méthane (CH_4) dont les premières mesures atmosphériques systématiques datent de 1978 et dont la première série de mesures a rapidement montré une augmentation d'environ 1 % par an, qui a été confirmée par la suite. Les mesures effectuées sur des échantillons d'air prélevés dans les calottes glaciaires ont permis d'estimer la teneur en méthane de l'atmosphère sur de longues périodes (Raynaud *et al.*, 1988). Elle est passée de 0,7 ppm avant 1700 à 1,72 ppm en 1990 avec une augmentation suivant celle de la population mondiale. On peut ajouter à ce phénomène d'effet de serre additionnel un autre type de pollution globale ; c'est le problème de l'ozone stratosphérique qui est apparu avec les projets de vols supersoniques dans la

143

stratosphère (SST américain et Concorde franco-anglais) et les travaux de Crutzen (1970 et 1971) et de Johnston (1971). Il a pris un degré plus grand de gravité avec les chlorofluoro-carbones (CFCs), Molina et Rowland (1974) ayant montré le rôle néfaste sur la couche d'ozone du chlore provenant de la décomposition de ces gaz dans la stratosphère. La diminution de la concentration d'ozone dans la stratosphère risque d'entraîner une augmentation du rayonnement ultraviolet solaire au sol, avec alors des actions néfastes sur l'homme, la végétation ; ceci à l'échelle de la planète, même si l'intensité du phénomène n'est pas uniforme avec la latitude.

Les risques de changements climatiques sont donc à l'origine dus à la modification de la composition de l'air en gaz produisant un effet de serre, comme le gaz carbonique, le méthane, l'oxyde azoteux (N_2O), l'ozone troposphérique (O_3), les chlorofluorocarbones, etc., donc aux rejets directs de ces gaz (ou de leurs précurseurs) dans l'atmosphère, lors par exemple de combustions ou à la suite d'activités industrielles ou domestiques. C'est le fait essentiellement des pays développés. Ils peuvent aussi être dus à des modifications des sources biogéniques, en raison de l'altération de certains écosystèmes ou encore à cause des activités agricoles, pastorales, l'exploitation non durable des forêts. La destruction de la forêt amazonienne a certainement fortement contribué à la prise de conscience qu'il n'y a pas que les combustibles fossiles qui entraînent le rejet de polluants dans l'atmosphère. Des modifications des cycles biogéochimiques peuvent aussi avoir des conséquences sur la composition de l'atmosphère, contribuant ainsi aux risques de changements climatiques qui peuvent agir en retour sur la dynamique de la biosphère, modifiant la faune, la flore, le niveau des océans, etc.

Au début des années quatre-vingt, l'académie des sciences américaine a été à l'origine, sous l'impulsion de Thomas F. Malone, d'un grand programme *Global Change* qui s'est structuré en 1986 sur le plan inter-

national, dans le cadre du conseil international des unions scientifiques, devenant le Programme International Géosphère-Biosphère (PIGB), d'abord orienté principalement sur les problèmes climatiques, puis s'élargissant progressivement vers l'ensemble de la biosphère et de la géosphère avec maintenant de nombreux sous-programmes. Son objectif est de décrire, de comprendre, de modéliser les processus essentiels qui gouvernent le système Géosphère-Biosphère, afin d'évaluer l'influence des activités humaines sur son évolution. Le fait que les actions de l'homme sont susceptibles d'apporter des altérations à l'ensemble de la planète est maintenant dans le domaine du possible, sinon du probable et les programmes de recherche sur les changements globaux sont devenus des priorités pour un certain nombre de pays industrialisés. C'est en particulier le cas du Japon, où les recherches ont été orientées dans la quasi-totalité des ministères concernés, vers les problèmes relatifs à l'environnement global. L'industrie est très étroitement associée aux principaux projets.

ENVIRONNEMENT ET PAYS EN DÉVELOPPEMENT

Les prévisions d'augmentation de la population mondiale, avec un doublement prévu pour 2050, soit 11 milliards d'habitants, 8 déjà en 2025, posent le problème de l'accroissement des risques d'altération de l'environnement, avec des rejets toujours plus grands de gaz ou particules polluantes, la modification des cycles biogéochimiques sur de nouvelles surfaces, par l'agriculture, l'utilisation d'engrais, etc. L'accroissement de la population devant se faire essentiellement dans les pays en développement, on doit envisager tout de suite l'existence de liens entre "développement et changements globaux", sans pour autant mettre en cause le développement de ces pays, mais au contraire afin d'éviter des erreurs qui pourraient le compromettre à plus long terme, en raison aussi de dégradations de l'environnement local et régional.

Dès la conférence des Nations Unies sur l'environnement de Stockholm en 1972, il était clair que le développement devait se faire en respectant l'environnement mais c'est la conférence de Rio de juillet 1992 qui a permis très largement de faire prendre conscience que la protection de l'environnement ne pouvait se faire sans un développement ne compromettant pas l'avenir (que nous appellerons dans la suite développement durable), des pays du Sud, en collaboration avec les pays industrialisés. Tous les gouvernements réunis à Rio se sont mis d'accord sur la nécessité de protéger les climats de notre planète, c'est-à-dire en particulier de limiter les rejets de gaz carbonique. En l'an 2000 les émissions doivent être ramenées au niveau de celles de 1990 ; mais la préoccupation majeure des pays pauvres est d'abord leur propre survie, qui passe en premier lieu pour eux par le développement de leur économie et l'éradication de la pauvreté. Dans les négociations qui ont précédé la conférence, la question s'est posée de savoir s'il fallait mettre sur le même plan toutes les sources de pollution, celles provenant des combustibles fossiles utilisés par les pays du Nord et les émissions des feux de biomasse ou des rizières des pays du Sud. Ces dernières sources doivent être limitées autant qu'il est possible, mais leur prise en compte, au même titre que celles provenant des combustions, dans des quotas de rejet qui seraient attribués à chaque pays, limiterait les possibilités de développement de certains pays du Sud, en ne leur permettant pas d'utiliser les combustibles fossiles dont ils ont besoin pour développer leur économie. La carte indiquant les pays ayant un comité national PIGB montre que ce sont essentiellement les pays du Nord qui ont adhéré à ce programme et les activités de recherche ne sont vraiment actives que dans les principaux pays industrialisés (figure 1). Les pays en développement qui ont marqué leur intérêt ne disposent pas des chercheurs et des crédits pour s'intéresser aux changements climatiques et de façon générale aux répercussions au niveau global, des atteintes à l'environnement local. Les recherches sur l'environnement global sont considérées le

Figure 1 - Les pays n'ayant pas, en septembre 1993, de comités nationaux PIGB sont en clair sur la figure. Ce sont des pays en développement. D'après *Global Change Newsletter*, 1993, n° 15, p. 15.

plus souvent dans ces pays comme une affaire des pays riches, et ce d'autant plus que ce sont ces derniers qui sont responsables des modifications actuelles, même s'il existe certaines sources de gaz à effet de serre dans les pays du Sud. Des pays comme le Brésil, qui ont des chercheurs ayant un niveau comparable à celui de pays riches, ne disposent pas des crédits pour travailler sur des sujets intéressant l'ensemble de la planète. Il faut toutefois souligner que les modifications globales trouvent souvent leur origine (ce n'est pas une règle générale) dans des pollutions qui dégradent d'abord l'environnement local ou régional et qui ont donc des conséquences directes sur le développement. Nous l'avons déjà signalé et nous allons le montrer dans la suite sur quelques exemples. À ce titre, les pays du Sud sont directement concernés par les recherches effectuées dans le cadre d'un programme comme le PIGB.

ÉTABLIR DES COLLABORATIONS ENTRE RECHERCHES SUR LE DÉVELOPPEMENT ET SUR LES CHANGEMENTS GLOBAUX

Il est indispensable que les pays en développement s'orientent vers un dévelop-

pement durable et il existe des programmes de recherche qui vont dans ce sens, comme ceux effectués sous l'égide, ou en collaboration avec des organismes français de recherche tels que l'ORSTOM, le CIRAD, etc. Il faut aussi que ce développement durable (à l'échelle locale) altère au minimum la planète à grande échelle. Il existe aujourd'hui des communautés de chercheurs qui travaillent, en général à l'échelle locale, sur l'environnement et le développement durable et d'autres sur "l'environnement global". Pour répondre aux souhaits qui se sont exprimés lors de la conférence de Rio, dans le souci aussi d'une amélioration de l'efficacité de la recherche, il est très souhaitable d'établir des collaborations et des liens entre ces communautés. En effet, pour étudier l'environnement global, il est nécessaire de considérer les actions qui se produisent à l'échelle locale et dont la répétition à la surface du globe entraîne une répercussion à plus grande échelle. Les processus, le plus souvent, ne peuvent s'étudier qu'à petite échelle et c'est une bonne paramétrisation, fondée sur la connaissance des phénomènes élémentaires, qui peut permettre de globaliser le phénomène, par exemple en utilisant alors des outils appropriés à la grande échelle, comme la télédétection, la modélisation numérique.

Étudier les "Changements Globaux", c'est dans ce sens prendre en compte l'environnement local. Protéger l'environnement global est donc souvent d'abord protéger "l'environnement local". Nous allons prendre des exemples sur quelques thèmes qui montrent clairement les liens entre environnement global, environnement local et recherche pour le développement.

La déforestation

La déforestation se traduit par le destockage du carbone situé dans la partie aérienne de la biomasse et dans les sols. Cette déforestation qui du moyen âge au XX^e siècle a touché les forêts d'Europe et d'Amérique du Nord, se produit maintenant dans les régions intertropicales. À partir des estimations des surfaces déforestées fournies par la FAO, l'*International Panel on Climatic Change* (IPCC) donne une émission annuelle de CO₂ de $1,6 \pm 1$ gigatonnes de carbone. Ce chiffre est contesté, en particulier par les brésiliens, car les incertitudes sont nombreuses, sur les superficies déforestées, sur les stocks de carbone dans la biomasse aérienne et dans les sols. Il correspond à environ 30 % des rejets dus aux combustibles fossiles. Il s'agit là d'un problème important pour l'effet de serre. Une partie de la superficie déforestée sert à la production de bois d'œuvre, mais l'exploitation de la forêt ne conduit pas nécessairement à sa destruction. D'après la FAO, au cours de la période 1970–1980 sur 44 000 km² exploités pour le bois, 24 000 seulement ont disparu. La forêt est aussi coupée pour être remplacée par des pâturages, des cultures, des plantations. La suppression de la forêt se traduit par des changements à l'échelle locale et régionale qui, comme indiqué précédemment, peuvent avoir des répercussions à l'échelle globale ; à titre d'exemple, on peut citer les modifications du bilan énergétique, des cycles de l'eau, du carbone, de l'azote et d'autres éléments dans le sol. On observe dans les régions au relief accidenté une augmentation de l'érosion hydrique et le transport vers les fleuves et la mer de la matière organique des sols, qui, souvent très pauvres, deviennent rapidement après

Figure 2 - Influences de la déforestation sur les températures de surface, les précipitations, l'évapotranspiration et la différence évapotranspiration-précipitation, obtenues avec un modèle climatique global, pour a) l'ensemble de l'Amazonie et b) le Sud de l'Amazonie. Les courbes en trait plein correspondent aux résultats du modèle avec la région non déforestée, celles en pointillés à la suppression de la forêt. Pour la région Sud les variations sont importantes et compromettent la repousse de la forêt (d'après Nobre et al, 1991).

quelques années impropres à l'agriculture ou à l'élevage.

Une des caractéristiques de la forêt tropicale est la faible valeur du flux de chaleur sensible par rapport au flux de chaleur latente (*encadré*) (évapotranspiration), ce qui limite la turbulence d'origine thermique au-dessus de la forêt. Le rapport entre ces deux flux peut atteindre 0,1. La suppression de la forêt augmente l'intensité de la convection thermique dans la couche limite atmosphérique. Plusieurs auteurs ont réalisé des expériences par modélisation sur des modèles globaux, en supprimant la forêt tropicale et en la remplaçant par des pâturages. Les effets les plus importants se produisent dans les régions déforestées. Les résultats sont toutefois variables suivant les auteurs. Nobre *et al.* (1991) trouvent pour l'ensemble de l'Amazonie une élévation de température de l'ordre de 2° C, une diminution des précipitations de 2 mm par jour, une diminution de l'évapotranspiration. Le bilan précipitation-évapotranspiration est diminué. Les effets sont plus importants en ne considérant que la partie Sud de l'Amazonie. Une des conséquences, donnée par les auteurs, est que dans cette région, en raison de la modification du régime hydrique, la repousse de la forêt serait compromise. Les effets seraient augmentés en prenant en compte le ruissellement, l'érosion, etc.

Le dégagement de CO₂ du sol à la suite de la déforestation, traduit une modification locale du cycle du carbone avec une diminution de la matière organique contenue dans les sols. Le cycle de l'azote est aussi affecté mais il est encore mal connu. Luizao *et al.*, (1988), Matson *et al.*, (1988) ont mis en évidence en Amazonie des flux de N₂O augmentés d'un facteur supérieur à 5, sur des zones où la forêt a été remplacée par des pâturages. L'oxyde azoteux (N₂O) est un gaz à effet de serre, dont la concentration augmente à raison de 0,25 % par an ; d'après ces auteurs, 25 % de cette croissance pourrait provenir du remplacement des forêts par des pâturages. Le N₂O n'a pas d'effet local, mais le changement de son flux d'émission traduit la modification du cycle de l'azote qui entraîne aussi

LE BILAN ÉNERGÉTIQUE SOL-ATMOSPHÈRE

Le sol reçoit l'énergie solaire qui est partiellement réfléchi (albédo). Il réémet un rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde (maximum du spectre à 15 µm), partiellement absorbé dans l'atmosphère par des gaz, surtout la vapeur d'eau et le gaz carbonique, mais aussi le méthane, l'oxyde azoteux, l'ozone. Les nuages, les particules d'aérosol absorbent également ce rayonnement. L'échange d'énergie entre le sol et l'atmosphère se fait aussi, grâce à la turbulence du mouvement de l'air, sous forme de chaleur (chaleur sensible) et de vapeur d'eau (chaleur latente). Le flux de vapeur d'eau près du sol provient de l'évaporation (ou de la condensation) de l'eau des sols et de la transpiration des plantes. La somme des deux constitue l'évapotranspiration (ETR). Le réchauffement de l'air des basses couches entraîne des mouvements verticaux (convection thermique).

l'émission d'ammoniac, de monoxyde d'azote NO, qui est aussi un des principaux polluants dégagés par les combustions, en particulier les automobiles. Le NO est un gaz très actif dans l'atmosphère, responsable de la formation d'ozone, d'acides, en particulier l'acide nitrique HNO₃. Il n'existe encore que peu de mesures d'émission de NO en région de forêts. On peut citer les résultats obtenus par Delmas et Servant (1987) en Afrique, ceux de Kaplan *et al.*, (1988) en Amazonie, qui donnent des flux pendant la saison sèche de deux à trente fois supérieurs à ceux obtenus dans les régions tempérées. Bakwin *et al.* (1990) montrent que l'introduction d'engrais azotés dans les sols de la forêt augmente le dégagement de NO de cinq à cent fois. Il n'existe pas encore de résultats concernant les agrosystèmes qui prennent la place de la forêt. Des études sont nécessaires pour comprendre la modification du cycle de l'azote, qui dépend de nombreux facteurs comme les caractéristiques physiques du sol, la concentration d'oxygène, de carbone, de nitrates, la température, l'humidité du sol, l'utilisation d'engrais, etc. Tous ces paramètres sont changés lors de la déforestation et la mise en culture. Il serait souhaitable

que les études agronomiques, qui sont menées avec l'objectif d'un développement durable des régions aujourd'hui occupées par la forêt, intègrent cet aspect et les conséquences sur l'environnement atmosphérique régional mais aussi, bien sûr, global. L'accroissement des rendements agricoles, solution préconisée pour éviter la transformation des forêts en terre agricole ou en pâturage, entraîne l'utilisation plus importante d'engrais avec comme consé-

Figure 3 - Schématisation de l'influence des précipitations et du surpâturage sur le phénomène d'érosion et de désertification. Dans le cas d'un pâturage normal, une année sèche se traduit par un accroissement de la zone qui subit l'érosion (en sombre) mais le phénomène est rapidement réversible. Dans le cas d'un surpâturage, la zone subissant l'érosion est plus large, même en période pluvieuse. La sécheresse se traduit par une progression importante de l'érosion, le phénomène n'est plus rapidement réversible lors du retour à des précipitations normales. (D'après Lundholm, 1977).

Figure 4 - Relations entre le développement, les changements de l'environnement local et régional et les changements globaux. Le développement non durable entraîne, avec les activités humaines, des dégradations de l'environnement qui se répercutent directement sur l'ensemble de la planète, comme les rejets de méthane des cultures inondées, de gaz carbonique provenant de la déforestation ou de combustions. Les dégradations se produisent aussi à l'échelle locale et régionale ; elles compromettent alors le développement. Elles peuvent aussi se répercuter à l'échelle globale. En retour les modifications climatiques globales peuvent entraîner localement des déficits pluviométriques, une augmentation du niveau des mers et l'inondation de régions côtières, etc., et agir aussi sur le développement.

quence une plus grande perturbation des cycles biogéochimiques. Cette pratique, que donnent en exemple les pays riches, se développe déjà en Inde, dans le sud-est Asiatique.

L'érosion éolienne

L'érosion éolienne est une cause importante de dégradation des sols. Elle vient en deuxième position après l'érosion par l'eau (Oldeman, 1990). Les zones soumises à l'érosion éolienne sont les régions désertiques, arides et semi-arides dont la plus grande partie se trouve dans les pays en développement. Cette érosion vient s'ajouter souvent à l'érosion hydrique. En effet, bien que sur l'année la quantité d'eau précipitée y soit faible, les pluies qui se manifestent de façon brutale sur une courte période sont propices à l'érosion. La mise en suspension dans l'atmosphère de particules provenant du sol a des répercussions à l'échelle globale. Elles modifient en effet de façon complexe le bilan radiatif de l'ensemble

Figure 5 - Cette figure représente le taux de déforestation pour la période 1975-1978 en fonction de la densité de population pour l'ensemble de l'Amazonie brésilienne. On voit clairement qu'il n'y a pas de corrélation entre les deux ; d'autres causes que la densité de population comme la spéculation foncière, les avantages fiscaux, les modes d'appropriation du sol, etc., étant aussi des facteurs entraînant la déforestation. (D'après le rapport IGBP, 1993, n° 24).

terre-atmosphère, en diffusant le rayonnement solaire et en absorbant le rayonnement infrarouge, d'origine tellurique. Les quantités de poussières mises en suspension, puis transportées sur de très longues distances (plu-

seurs milliers de kilomètres) sont considérables, mais les conséquences sur le bilan radiatif global restent encore imprécises. Elles dépendent des caractéristiques physiques des particules (fonction de distribution granulométrique, indice de réfraction, etc.) et de l'albédo du sol. Localement, on observe une diminution de l'onde diurne de température et de la convection. Les particules peuvent aussi agir comme noyaux de condensation pour la formation des gouttes de nuage. Elles se déposent parfois loin de la zone de génération, exportant la terre arable, des zones arides vers d'autres écosystèmes ou encore les océans. Les sols ayant perdu de la matière organique et des éléments nutritifs sont appauvris, avec des risques de désertification.

L'érodibilité des sols est fonction de la couverture végétale qui dépend du régime des précipitations, mais aussi de l'utilisation des sols. Un surpâturage accompagné d'un déficit pluviométrique entraîne une diminution de la couverture végétale, détruit les racines et les réserves des plantes en sous-sol (Lundholm, 1977). Une année pluvieuse ne permet pas ensuite à la végétation de retrouver son état antérieur. L'action mécanique de la pluie détériore la structure superficielle du sol moins protégé, avec une diminution de la perméabilité, une mobilisation des particules qui sont enlevées par le vent. La capacité de stockage de l'eau est réduite. L'agriculture modifie aussi les caractéristiques du sol qui se trouve sans couverture végétale pendant toute la saison sèche ; l'érosion est ainsi facilitée. Les conséquences sont en premier lieu des répercussions irréversibles au niveau local sur la qualité des sols, une qualité de l'air altérée, se manifestant en particulier par d'importants troubles de visibilité qui peut être réduite, sur de très larges régions, à quelques centaines de mètres. Les recherches sur l'environnement global et celles concernant le développement durable de ces régions doivent, sur ce thème de l'érosion éolienne, trouver des points de convergence. L'augmentation de la population dans ces régions risque d'aggraver la situation localement, avec des répercussions sur la quantité de poussières mises en suspension dans l'atmosphère et donc des consé-

quences possibles au niveau global, comme cela a été indiqué précédemment. En Afrique, la population de neuf états du Sahel (pays du Comité Inter États de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS)) qui était de 40 millions d'habitants en 1987 dépassera, d'après les prévisions, 70 millions en 2005 (Cornet et Le Floch, 1992).

La combustion de la biomasse

La biomasse est utilisée comme source d'énergie surtout dans les pays en développement. Ceci contribue au déboisement, en particulier en régions de savanes et régions semi-arides et donc à la dégradation des milieux naturels.

La consommation de combustibles ligneux a ainsi entraîné au Sénégal, en 1988, un prélèvement annuel d'environ 2,1 millions de tonnes de bois, dont 1,2 consommées sous forme de bois de feu et 0,9 transformée en 0,15 millions de tonnes de charbon. Une partie de ce bois provient de défrichements agricoles, mais le reste correspond au déboisement de 500 km² (Amous, 1991). D'après M.O. Andreae (1991), la consommation annuelle de bois de chauffage est d'environ 465 kg par personne dans les régions tropicales.

Les feux de résidus agricoles (paille, souches, canne à sucre) constituent, surtout dans les pays en développement, une autre forme de combustion de la biomasse ; l'incendie des champs de canne à sucre, avant la récolte, pour faciliter le ramassage, correspond à une quantité de biomasse brûlée à l'échelle mondiale du même ordre de grandeur que celle utilisée pour le bois de chauffage (Andreae, 1991).

La combustion de la biomasse est aussi utilisée pour la suppression de la forêt tropicale, lors de son remplacement par des cultures ou des pâturages. En région de savane, les feux servent à nettoyer les abords des villages en détruisant les insectes, les serpents, les rongeurs, etc. Ils sont aussi utilisés pour la chasse, pour le défrichement des herbes sèches. En Afrique 25 à 50 % des savanes soudanaises, 60 à 80 % des savanes guinéennes,

localisées entre 15°N et 15°S, brûlent chaque année (Menaut *et al.*, 1991), mais ce chiffre demande à être précisé de façon objective notamment grâce à la télédétection satellitaire.

Toutes ces combustions de biomasse amènent le rejet dans l'atmosphère de grandes quantités de polluants (CO_2 , CO, CH_4 , hydrocarbures, oxydes d'azote), entraînant une importante pollution atmosphérique dans les régions concernées mais aussi une pollution à l'échelle globale, en raison de l'émission de gaz à effet de serre, de particules, en particulier de carbone. Ainsi d'après Andreae (1991), le pourcentage de la participation des feux de biomasse à l'échelle de la planète, atteint 40 % pour le CO_2 , 32 % pour le CO, 38 % pour la formation de l'ozone à partir des précurseurs émis par les feux. Il faut toutefois noter que dans le cas du CO_2 , les combustions d'herbes, en particulier en région de savane, ne correspondent pas à un destockage sur le long terme du carbone, car il y a repousse l'année suivante et de nouveau absorption du carbone atmosphérique. Ces chiffres sont bien sûr des estimations qu'il est nécessaire de préciser. Régionalement, on observe des concentrations élevées d'ozone et d'acides, comme cela a été montré, en Afrique dans le cadre du programme Decafé (Lacaux *et al.*, 1991, Fontan *et al.*, 1992, Cros *et al.* 1987, 1988, 1992). De nombreux éléments comme le phosphore, le potassium, etc. sont exportés vers d'autres écosystèmes. Les retombées peuvent avoir des actions néfastes sur la végétation (oxydants, acides) ou au contraire des effets bénéfiques, en enrichissant les sols. Ceci doit intéresser les pédologues, les agronomes, les hydrologues travaillant dans ces régions dans le domaine du développement durable.

À l'échelle locale, les quantités de polluants émis sont considérables. Vickos, (1991) et Brustet *et al.*, (1991) ont comparé l'intensité des émissions d'un feu de biomasse en région de savane en Afrique aux émissions produites par la pollution automobile. Par exemple, pour l'émission de gaz carbonique, en se fondant sur la consommation d'essence, la quantité moyenne émise à chaque instant, par un département comme la Haute-

Garonne en 1984, correspond à l'émission d'un "feu moyen". En saison sèche, le nombre de feux, pour une superficie équivalente à un département comme la Haute-Garonne est de plusieurs unités. La pollution de l'air peut atteindre pour certains constituants des niveaux très supérieurs à ceux rencontrés dans les pays industrialisés. Les effets sur la population doivent toutefois rester relativement limités, dans la mesure où les niveaux de pollution élevés ne se produisent que pendant la période du feu.

La combustion de la biomasse qui a des répercussions locales, régionales et globales, imbriquées les unes dans les autres, est un thème qui nécessite des recherches pluridisciplinaires. L'utilisation d'une autre source d'énergie que le bois est liée au développement de ces régions. La pratique des feux de biomasse a une action sur les écosystèmes concernés, une répercussion sur d'autres écosystèmes voisins avec l'exportation de nutriments, de polluants, etc.

CONCLUSION

C'est vraisemblablement dans les pays en développement que l'on assistera dans les prochaines décennies et lors du prochain siècle à des mutations qui seront susceptibles de modifier significativement l'environnement global. En matière de consommation d'énergie, de transport, d'utilisation des ressources non renouvelables, d'agriculture, on peut raisonnablement espérer que les pays industrialisés diminueront les conséquences néfastes sur l'environnement. Les sources de pollution dans ces régions sont relativement bien identifiées. D'importantes réductions ont déjà été effectuées (Dessus, 1993) et cela doit pouvoir continuer. Les modifications climatiques, si elles se produisent, pourront avoir des effets sur certains écosystèmes comme les forêts boréales, qui en retour pourront aggraver la situation, mais les causes additionnelles des changements globaux résultant des activités humaines, pourraient dans le futur provenir principalement des pays en développement. Le thème "environnement-développement" a été effectivement reconnu lors de

la conférence de Rio comme essentiel à la fois pour l'environnement et le développement qui ne peuvent être dissociés. Il s'agit donc maintenant de ne pas en rester au niveau des déclarations d'intention des responsables politiques et de faire avancer les connaissances afin de pouvoir proposer des solutions qui permettront le développement tout en protégeant l'environnement, du local au global. Cet aspect avait déjà été pris en compte par le PIGB en 1990 dans le rapport n° 12 *The initial projects* qui recommande de stimuler les recherches dans les pays en développement, ce qui a été réaffirmé lors de la seconde conférence sur le climat en novembre 1990, avec la proposition de créations de réseaux de recherche interdisciplinaires dans les pays en développement, englobant les sciences de la nature, de la société, les disciplines s'occupant de technologies, afin de développer des recherches intégrées sur les changements globaux, les impacts et les réponses politiques. Lors de la conférence du sous-programme "International Global Atmospheric Chemistry" (IGAC) à Eilat (Israël) en avril 1993, un nombre important de contributions concernait les régions intertropicales avec "les impacts de la combustion de la biomasse", "les émissions de méthane provenant des rizières", "les interactions biosphère-atmosphère et les changements d'utilisation de la terre" (land use change) dans les tropiques, la chimie de l'atmosphère dans l'Asie du Sud-Est. Il y a donc une prise de conscience de l'importance de ces régions dans les processus susceptibles d'affecter les changements globaux dans le futur. Les programmes internationaux mettent toutefois plus l'accent sur les conséquences d'un changement climatique sur les écosystèmes fragiles des pays du sud que sur les actions susceptibles d'induire le changement climatique. Ce dernier aspect doit être prioritaire, car il va précéder et contribuer à provoquer le premier.

Il n'y a pas actuellement de collaboration, peut-être même de dialogue, entre les communautés de recherche travaillant sur le développement et celles s'intéressant aux changements globaux. Des points de convergence existent. Nous en avons, à titre

d'exemple, indiqué quelques-uns, mais il y en a bien d'autres. On aurait pu développer le problème du méthane, qui est essentiellement une question de "pollution globale". Il est dégagé par les cultures inondées, l'élevage, qui sont essentiels pour le développement et qui sont responsables d'émissions importantes. Il est partiellement absorbé par des bactéries dans les sols (5 à 10 % de la production annuelle) et d'après Keller *et al.* (1990), la suppression de la forêt tropicale, qui est globalement un puits, pourrait contribuer à l'augmentation de la concentration de ce gaz dans l'atmosphère. Au niveau de l'étude des sols il serait possible aussi d'envisager des coopérations. Le fonctionnement biologique, hydrique, hydrogéochimique des sols, l'évolution sous les actions anthropiques sont des problèmes d'environnement et de développement. Les écotones, frontières entre écosystèmes, qui évoluent avec les actions humaines et sous des influences climatiques pourraient aussi constituer des indicateurs de changements globaux.

Des travaux en collaboration sont indispensables dans le domaine des sciences sociales et économiques. L'évolution de la composition de l'atmosphère va dépendre comme on l'a vu des actions humaines. Cet aspect doit être pris en compte dans un certain nombre d'études, en particulier dans les scénarios qui permettent de simuler le futur et dans la recherche de solutions permettant d'éviter les dégradations de l'environnement. À titre d'exemple, on peut citer le cas de l'Amazonie brésilienne où les modèles de développement influent autant que l'intensité des flux migratoires sur la déforestation. La spéculation foncière, les avantages fiscaux, les investissements publics dans la construction et l'entretien des routes, les modes d'appropriation du sol sont des causes très fortes de déforestation et donc de dégradation de l'environnement (Fearnside, 1991). ■

(Reçu le 2 novembre 1993)

Références

Amous S. (1992). Énergie et dégradation de l'environnement. Le cas du Sénégal, *Bulletin africain. Énergie, bois, environnement*, n° 3, 3-5.

Andreae M.O. (1991). Biomass burning : Its history, use, and distribution and its impact on environmental quality and global climate. *Global Biomass Burning*, MIT Press, Cambridge, 3-21.

Arrhenius S. (1896). On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground, *Phil. Mag.*, 41, 237-276.

Bakwin P.S., Wofsy S.C. and Song-Miao Fan (1990). Measurements of reactive nitrogen oxides within and above a tropical forest canopy in the wet season, *J. Geophys. Res.*, 95, 16765.

Brustet J.-M., Vickos J.-B., Fontan J., Manissadjian K., Podaïre A. and Lavenu F. (1991). Remote sensing of biomass burning in West Africa with NOAA-AVHRR, In *Global Biomass Burning*, MIT Press Cambridge, 47-52.

Brustet J.-M., Vickos J.-B., Fontan J., Podaïre A., Lavenu F. (1991). Characterisation of active fires in West African savannas by analysis of satellite data : Landsat Thematic Mapper, In *Global Biomass Burning*, MIT Press Cambridge, 53-60.

Cornet A., Le Floch E., 1992. La dégradation des milieux en zones arides, Dans *Environnement et développement durable*, ministère de la Recherche et de l'Espace, 10-11.

Cros B., Delmas R., Clairac B., Nganga D. and Fontan J. (1987). A survey of ozone concentration in a equatorial region during the rainy season, *J. Geophys. Res.*, (12), D8, 9772-9778.

Cros B., Delmas R., Nganga D., Clairac B., Fontan J. -1988. Seasonal trends of ozone in equatorial Africa. Experimental evidence of photochemical formation. *J. Geophys. Res.* (93), D7, 8355-8366.

Cros B., Nganga D., Minga A., Fishman J. and Brakett V. (1992). Distribution of tropospheric ozone at Brazzaville, Congo, Determined from ozone sonde measurements, *J. Geophys. Res.*, (97), D-12, 12869.

Crutzen P.J. (1971). Ozone production rates in an oxygen-hydrogen oxide atmosphere, *J. Geophys. Res.*, (76), 7311-7327.

Delmas R. et Servant J. (1987). Échanges biosphère-atmosphère d'azote et de soufre en zone intertropicale : transfert entre les écosystèmes forêt et savanne, *Atmospheric Research*, 21, 53-74.

Dessus B. (1993). Les moyens d'éviter l'impasse énergétique. *Savoir 2, Le monde diplomatique*, M 1554, p. 88-90.

Fearnside P.M. (1991). Développement agricole et déforestation en Amazonie brésilienne, *Cahiers des sciences humaines* (27) 1-2, 235-253.

Fontan J., Druilhet A., Benech B., Lyra R. and Cros B. (1992). The DECAFE experiment : Overview and meteorology, *J. Geophys. Res.* 97, D6, 6123-6136.

Fontan J. (1993). La Pollution atmosphérique dans les régions intertropicales, *La Recherche*, 253, 400-408.

Johnston H.S. (1971). Reduction of stratospheric ozone by nitrogen oxide catalysis from SST exhaust, *Science*, 173, 517-522.

Kaplan, W.A., Wofsy S.C., Keller M. and da Costa J.M. (1988). Emission of NO and deposition of O₃ in a tropical forest system, *J. Geophys. Res.*, (93), D2, 1417-1421.

Keller M., Mitre M.E. and Stallard R.F. (1990). Consumption of atmospheric methane in soils of central Panama : Effects of agricultural development, *Glob. Biogeo. cycles* (4), 1, 21-27.

Lacaux J.-P., Delmas R., Cros B., Lefevre B. and Andreae M.O. (1991). Influence of biomass burning emissions on precipitation chemistry in the equatorial forest of Africa, In *Global Biomass Burning*, MIT Press, Cambridge, 167-173.

Lundholm B. (1977). *Ecology and dust transport in saharan desert*. Scope 14, Edited by C. Morales, John Wiley and Sons, 61-91.

Luizao F., Matson P., Livingston G., Luizao R. and Vitousek P. (1989). Nitrous oxide flux following tropical land clearing, *Global Biochemical Cycles* 3, (3), 281-285.

Matson, P.A., Vitousek P.M., Livingston G.P., Swanberg N.A. (1988). Nitrous oxide flux from Amazon Ecosystems : Fertility and disturbance effects, *EOS*, 69, 320.

Menaut J.-C., Abbadie L., Lavenu F., Loudjani P., Podaire A., (1991). Biomass burning in west african savannas, In *Global biomass burning*, édité par J.S. Levine. MIT Press, 131-142.

Molina M.J., Rowland F.S. (1974). Stratospheric sink for chlorofluoromethanes. Chlorine atom catalysed destruction of ozone, *Nature*, 249, 810-812.

Nobre C., Sellers P.J., Shukla J. (1991). Amazonian deforestation and Regional Climate Change, *Journal of Climate*, vol. 4, 957-988.

Oldeman L.R. (1990). *Global assessment of soil degradation*, ISRIC/UNEP.

Raynaud D., Chapellaz J., Barnola J.M., Korotkevitch Y.S., Lorius C., (1988). Climatic and CH₄ cycle implications of glacial-interglacial change in the Vostok ice core. *Nature*, 333, 655-657.

Vickos B. (1991). *Télédétection des feux de végétation en Afrique intertropicale et estimation des émissions de constituants ayant un intérêt atmosphérique*, Thèse Université Paul Sabatier.

ABSTRACT : Global change and development

The United Nation Conference on the Environment held in June 1992 in Rio de Janeiro, or the Earth Summit as it is called, is considered as a very important progress in the consideration of the risks of degradation of our planet under the action of human activities. The 179 governments represented in the conference, has recognised the undissociable relationships between environment and development. It is the beginning of a process, toward a true management of the earth, that have to become concrete in the future. M.F. Strong, secretary general of the conference, comparing it to the French revolution and its principal results, indicate that the analogy of the earth summit is the Bastille storming. Environment and development are now linked because the risks of global changes on our planet are increased by the development of the South countries, following the deterioration by the large pollutions of the industrialised world during the last century. The developed countries have now to help the South countries for their development. The global environment has to be protected with the sustainable development of the poor countries. One of the objective of

this paper is to contribute to stimulate discussions on the necessary convergence between researches on global change and on development and not to underline the possible degradation of the environment by the development of the south countries, neither to discuss the solution for the limitations of the pollutions in the industrialised world. We show, with some examples, that the global change is in some cases the results of local and regional injuries to the environment, that can compromise their development. Global, regional or local environment and development are very often linked and the research programmes that expend separately, now have to converge. Examples of themes where collaborations are possible, as the deforestation, the eolian erosion of soils, the biomass burning are given. The interest for global change of the developing countries is not only the consequences of the possible change of their climate, due to the greenhouse gases, but also the injuries, resulting of the human activities, having first a consequence on the local and regional scales, before an action on the global planet.