

**Zeitschrift:** Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 51 (1998)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Environnement et forêts bulgares : une approche systémique  
**Autor:** Greppin, Hubert / Iordanov, Gricha / Degli Agosti, Robert  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-740156>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

**Communication présentée à la séance du 18 juin 1998****ENVIRONNEMENT ET FORÊTS BULGARES:  
UNE APPROCHE SYSTÉMIQUE**

PAR

**Hubert GREPPIN\*, Gricha IORDANOV & Robert DEGLI AGOSTI\*****ABSTRACT**

**Environment and bulgarian forests: a systemic approach.** - A general methodology for a sustainable development is presented. Local application is made for Bulgaria concerning the interaction: man-environment-society, this one through physical, chemical and biological viability envelopes. Forest characteristics are outlined as the capacity of carbon sequestration.

**Key-words:** Sustainable development, environment, forests, Bulgaria.

**INTRODUCTION**

Depuis la conférence des Nations Unies pour l'environnement et le développement à Rio, en juin 1992, marquant le vingtième anniversaire de la conférence de Stockholm sur l'environnement humain (1972), la notion de développement durable (sustainable development) est devenue un leitmotiv majeur avec celui de croissance économique des sociétés; ceci en dépit d'une certaine antinomie actuelle et momentanée entre les deux termes. En effet, la plupart des configurations économiques dans le monde ne sont pas encore viables à long terme, dans leur mode de fonctionnement. Seule, la mise en œuvre d'une nouvelle méthodologie d'approche conceptuelle, associée à des changements techniques appropriés, pourront permettre de définir les conditions générales d'une viabilité, à la fois économique et écologique, circonscrite dans les enveloppes minimales de contraintes planétaires physiques, chimiques et biologiques. C'est dans cet hyper-espace que des sociétés de cultures diverses pourront assurer un développement durable et varié (C.M.E.D., 1988; RAMADE, 1987).

S'il est relativement aisé de définir ce qu'est le développement durable (C.I. Rio, 1995): à savoir, d'assurer par le biais d'une compatibilité, à la fois économique, socio-culturelle et écologique, les besoins du présent, sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins, toute autre est la mise en application concrète sur la quelque centaine de pays constituant la terre. La perception et l'urgence du problème étant différentes selon les pays considérés, les diverses cultures

\* Université de Genève, Laboratoire de Physiologie et Biochimie végétales, 3, place de l'Université, CH-1211 Genève 4, Suisse. E. mail: Hubert.Greppin@bota.unige.ch

et le niveau économique et social. Une telle approche suppose une certaine éthique: chaque nation, chaque individu ont les mêmes droits en la matière. Les ennuis répétés et généralisés, suite aux défauts d'insertion de l'humanité avec l'environnement conduiront, petit à petit, vers une telle vision. Le développement durable ne peut être localement viable, à long terme, que s'il est aussi durable pour l'ensemble de la planète.

Pour aborder de manière prospective cette question, nous proposons une approche d'abord globale, puis locale et sectorielle, fondée sur la détermination de l'ordre de grandeur des enveloppes planétaires, puis régionales, de viabilité physique, chimique et biologique. Celles-ci participant essentiellement de logiques fonctionnelles extra-culturelles et ne déterminant pas directement les choix de société, lesquels sont tributaires du monde des valeurs (libertés humaines). Ainsi, on peut mettre en évidence les réelles limites primaires de la vie sur terre, laquelle dépend de peu de facteurs élémentaires: la température, via le climat, le besoin en eau (le vivant est formé en majorité d'eau) et en oxygène (photosynthèse, respiration), l'importance des biomasses (limite physique et écologique; surface, nourriture). D'autres limites actuelles, secondaires, peuvent et pourront être surpassées grâce à l'ingéniosité humaine, la connaissance scientifique et les changements culturels; l'hypothèse retenue étant que l'humanité est socialement viable...

Une fois le cadre systémique et fonctionnel dessiné (DUVIGNEAUD, 1974; GREPPIN, 1988, 1993a, b; LEMOIGNE, 1990; R.S.A.S., 1994), c'est par l'approche géomatique dynamique (FEDRA, 1994, 1996; DEGLI AGOSTI *et al.*, 1998) qu'il devient possible d'appréhender l'ensemble des paramètres descriptifs en interaction et de simuler, si nécessaire, leur relation dynamique, selon les logiques et mécanismes de régulation sous-jacents. Nous présentons ici, quelques résultats préliminaires sur la Bulgarie.

## MATÉRIEL

Les données statistiques sur la Bulgarie, les autres pays considérés et le monde proviennent de sources officielles diverses et d'ouvrages scientifiques (A.L.P., 1995; BOZINOV, RAFAILOV, 1994; CAMBESSEDES, 1993, 1995; DAKOV, 1990; DUVIGNEAUD, 1974; IORDANOV, 1977; OCDE, 1991, 1995; OSB, 1996; RAMADE, 1989; SCHLESINGER, 1991; WRI, 1996). A partir de celles-ci des calculs et estimations sont faits en utilisant les équations de la chimie et de la biologie fonctionnelle. L'ensemble des données constituent une évaluation de l'ordre de grandeur des limites planétaires primaires, conditionnant une limite démographique (surface, oxygène, nourriture, équilibre écologique) et thermique (énergies non-renouvelables).

La base de données forestières informatisées (SIG) a été établie par IORDANOV (1997) selon une méthodologie déjà décrite (FEDRA *et al.*, 1996; IORDANOV, 1997).

## LE PAYSAGE BULGARE

### *Caractéristiques générales*

La Bulgarie, située au centre de la péninsule balkanique, au sud-est de l'Europe, est comprise entre le 41<sup>e</sup> et 45<sup>e</sup> parallèle, au nord de l'équateur, et le 22<sup>e</sup> et 29<sup>e</sup> méridien, à

TABLEAU 1: Caractéristiques générales de la Bulgarie.

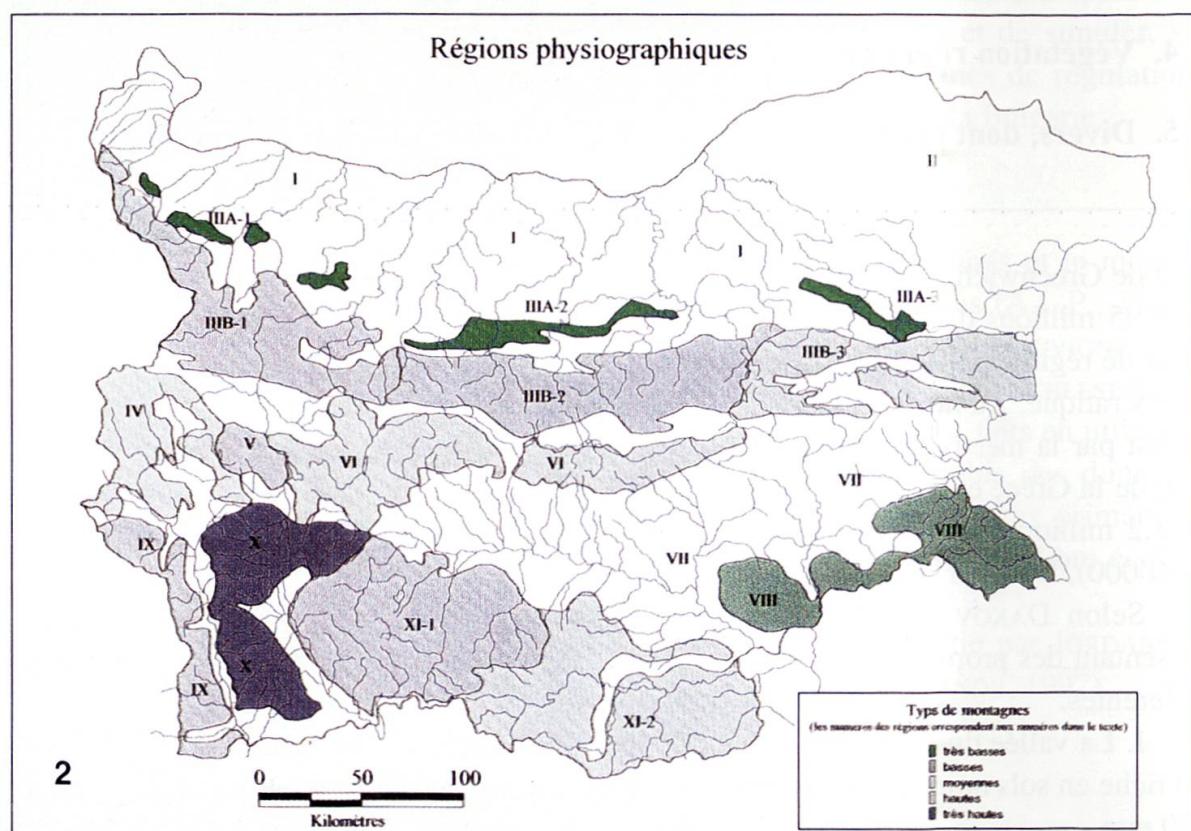
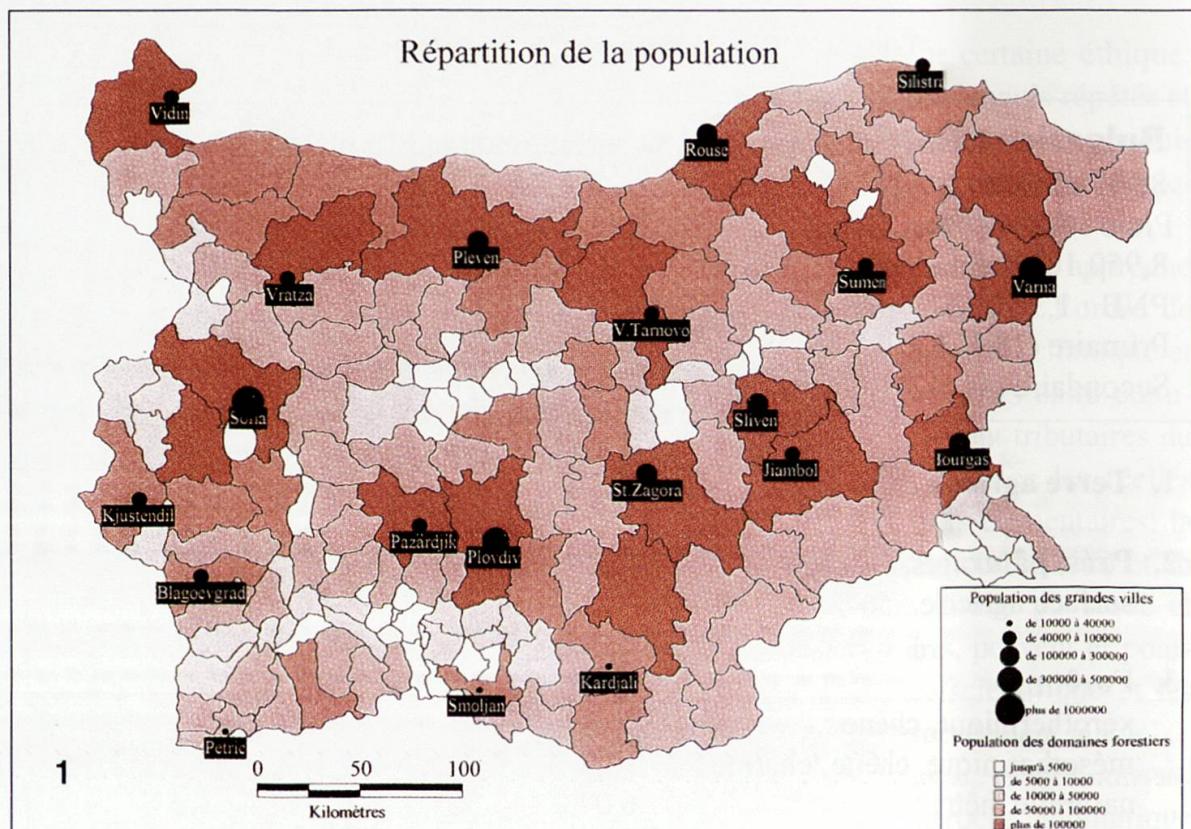
<b>Bulgarie</b> : $1,10912 \cdot 10^5 \text{ km}^2$ ; ~ 0,7 % surface mondiale utilisable.
86 % surface : $t^\circ > 10^\circ \text{ C}$ , $\geq 6$ mois.
Pluie : $8,8 \cdot 10^{10} \text{ t/an}$ . Soleil : $3,5 \cdot 10^{20} \text{ J/an}$ .
$8,950 \cdot 10^6$ Habitant(e)s; $81 \text{ Hab./km}^2$ ; ~ 0,7 % Hab. du monde (1993).
PNB : $1,3 \cdot 10^{10} \$$ ; $1,450 \$/\text{H.}$ :
Primaire (18 % H.) $0,3 \cdot 10^{10} \$$ ;
Secondaire (44 % H.), $0,6 \cdot 10^{10} \$$ ; Tertiaire (38 % H.), $0,4 \cdot 10^{10} \$$ .
<b>1. Terre agricole</b> cultivée : $4,3255 \cdot 10^4 \text{ km}^2$ (39 %)
<b>2. Prés, pâturages, élevage</b> : $1,8855 \cdot 10^4 \text{ km}^2$ (17 %) surface agricole : 56 %
<b>3. Forêt</b> : $4,0482 \cdot 10^4 \text{ km}^2$ (36,5 %) xérothermique, chêne : 16,5 % mesothermique, chêne, charme : 10,5 % naturelle, hêtre : 6,0 % naturelle, conifère : 3,5 %
<b>4. Végétation riveraine</b> : $4,4364 \cdot 10^3 \text{ km}^2$ (4 %)
<b>5. Divers, dont habitat</b> : $3,8819 \cdot 10^3 \text{ km}^2$ (3,5 %)

l'est de Greenwich. La superficie est de  $110912 \text{ km}^2$  (cf. tableau 1) et la population était de 8,95 millions d'habitants en 1993. Celle-ci a légèrement diminué, suite au changement de régime politique, l'ouverture des frontières et les difficultés liées à la transition démocratique. Au nord, elle est limitée par le Danube qu'elle partage avec la Roumanie, à l'est par la mer Noire; à l'ouest, elle est voisine de la Serbie et de la Macédoine, au sud, de la Grèce et de la Turquie. La capitale est Sofia (cf. fig. 1), ayant une population de 1,2 million d'habitants; les autres villes importantes sont Plovdiv (350'000), Varna (300'000), Bourgas (200'000) et Rousse (170'000).

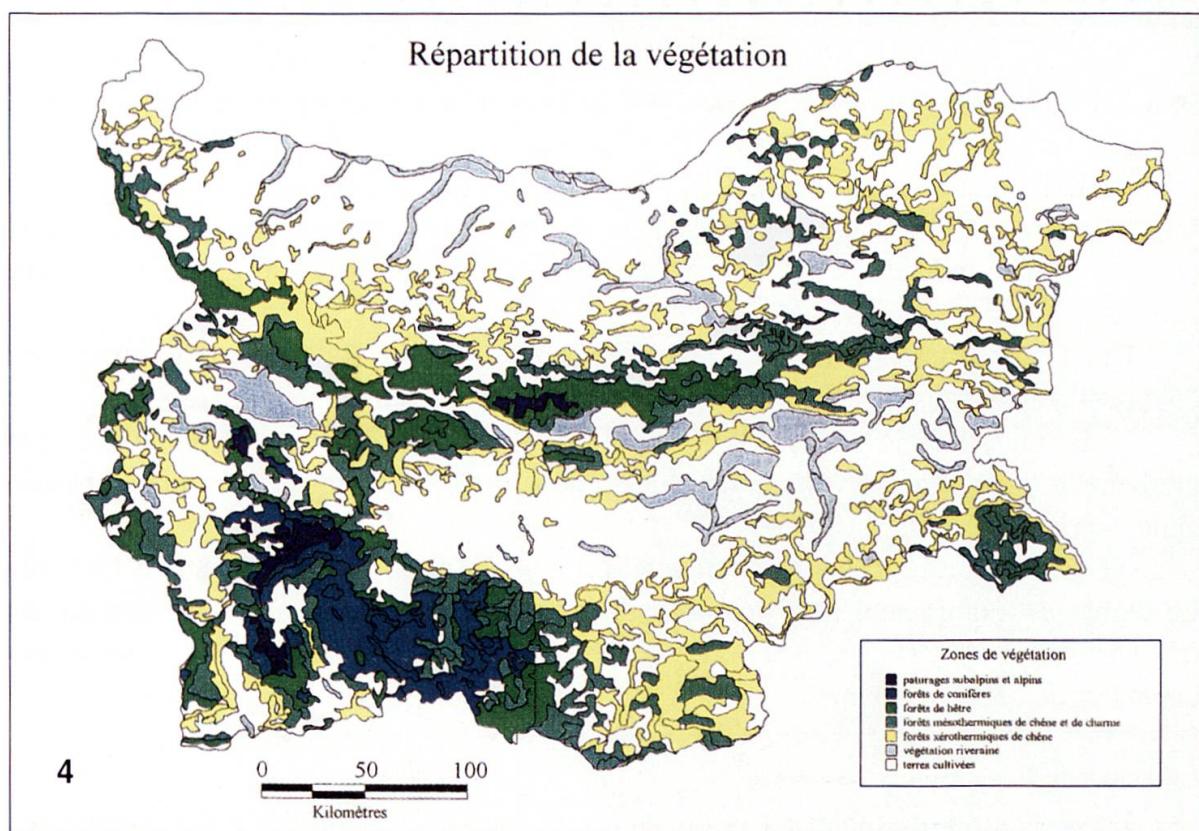
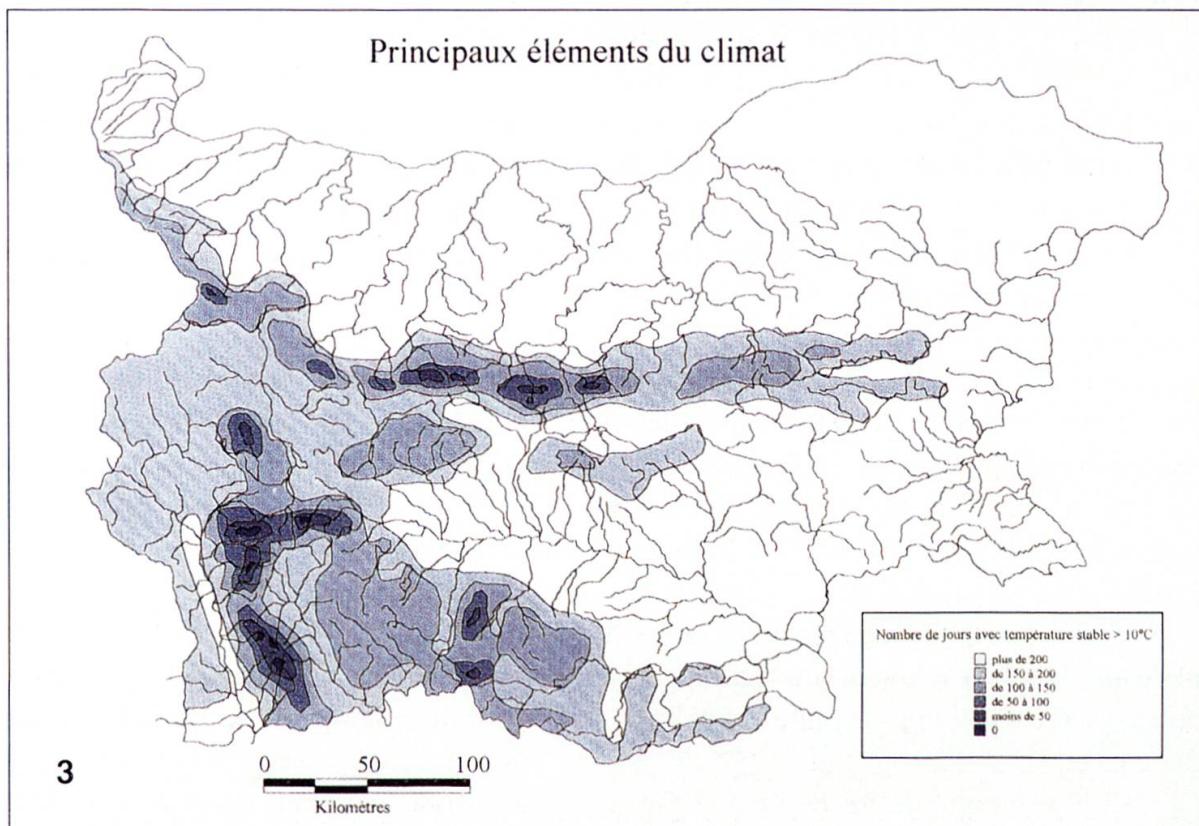
Selon DAKOV (1990), le pays peut être divisé en 11 régions (cf. figs 2 et 3) présentant des propriétés physiographiques, climatiques, hydrologiques et pédologiques différentes.

I. La vallée du Danube (jusqu'à 500 m) avec un climat continental (été:  $40-44^\circ \text{ C}$ ) est riche en sols noirs, profonds et fertiles (tchernoziom). Précipitations annuelles: 750 à 800 mm.

II. La Dobroudja (jusqu'à 300 m), pauvre en rivières à régime stable. Le climat est continental et les sols noirs et fertiles. Précipitations annuelles: 650-750 mm.



Figs. 1-2: 1. Répartition de la population sur le territoire bulgare. 2 Les 11 régions physiographiques bulgares (cf. texte).



Figs 3-4: 3. Conditions thermiques saisonnières. 4. Distribution de la végétation

III.A. La zone prébalkanique occidentale, centrale et orientale, à terrain accidenté (500 à 900 m) avec une période de végétation, respectivement de 190 jours (650 à 800 mm de pluie annuelle), 200 jours (750 à 800 mm de pluie annuelle, mais 450 à 550 mm pendant la phase végétative), 180 jours (600 à 700 mm de pluie annuelle). A cause de l'érosion importante, la rétention des pluies est faible et le ruissellement élevé.

III.B. La haute montagne des Balkans (900 à 2300 m), occidentale, centrale et orientale avec un climat de montagne très froid en hiver (couverture de neige de 100 à 160 jours) dans la partie occidentale et centrale (période végétative de 60 à 80 jours et précipitations annuelles de 850 à 1000 mm, voire 1200 mm au centre (pluie la plus abondante du pays). La partie orientale subit les influences du climat de type méditerranéen (période végétative de 180 à 210 jours et 600 à 750 mm de pluie annuelle).

IV. La zone de la Kraïtché (800 à 700 m) avec un climat particulier et des sols forestiers bruns, lessivés (650 à 700 mm de pluie annuelle). La neige existe pendant 80 à 100 jours.

V. La haute montagne de la Vitocha (800 à 2200 m) comprenant des hauts plateaux, souvent couverts de tourbières. Le gradient vertical climatique est très prononcé (800 à 1100 mm de pluie annuelle). La couverture de neige est de 100 à 120 jours par année.

VI. La montagne de la Sredna Gora (1200 à 1600 m) avec un climat modéré (transition du type continental vers des éléments méditerranéens). Les précipitations annuelles sont de 650 à 800 mm, réparties uniformément.

VII. La vallée de la Maritza (20 à 100 m). Le climat est modéré: hiver doux, été chaud. La période végétative est de 200 à 220 jours et les pluies annuelles de 750 à 800 mm. Cette zone est riche en alluviaux fertiles.

VIII. La basse montagne de Strandja-Sakar (200 à 800 m). Le relief est très fragmenté avec une influence climatique combinée de la mer Noire et de la Méditerranée. La période de végétation est de 190 à 210 jours (300 à 400 mm de pluie annuelle).

IX. Les montagnes d'Ossogovo-Belassitza (1500 à 2200 m). Le climat est continental et les sols forestiers érodés (700 à 950 mm de pluie annuelle).

X. Le massif de Rila-Pirin (800 à 2900 m). Climat de montagne typique avec fort gradient vertical. La couverture de neige dure 100 à 180 jours et les précipitations annuelles sont de 800 à 1150 mm.

XI. Le massif du Rhodope occidental (1000 à 2000 m) et oriental (800 à 1500 m). Le climat est continental avec une transition méditerranéenne. La partie orientale est très sensible à l'érosion. La période végétative est de 200 à 210 jours et les pluies annuelles de 650 à 1000 mm.

### *La végétation*

La végétation (cf. tableau 1 et fig. 4) est très variée et inclut des reliques tertiaires, des endémiques (250 espèces), des espèces des régions tempérées et méditerranéennes. Selon DAKOV (1990) les principales zones végétales sont les suivantes:

1. Buissons et pâturages subalpins (2000 à 2500 m). Dans le passé, la végétation primaire (*Pinus montana, mughus*) formée de pins nains a été largement utilisée par les montagnards pour la production de charbon de bois, d'où une perte dans la régulation hydrologique et forte érosion. La végétation secondaire est constituée de buissons de genévrier, de myrtilliers et de pâturages recouverts d'herbes diverses (ovins; foin).

2. Forêt de conifères (1500 à 2000 m). La végétation primaire est composée:

a) de forêts de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) dont une partie est mélangée avec d'autres conifères de montagne: l'épicéa (*Picea abies*), le sapin blanc (*Abies alba*) et deux endémiques balkaniques: *Pinus peuce Griseb* et *Pinus heldreichii Christ*;

b) de forêts d'épicéa, parfois associé avec le pin sylvestre et le hêtre (*Fagus sylvatica*). La canopée est très dense et la formation de sous-bois ou de couverture herbacée faible;

c) de forêts de sapin blanc mélangé avec l'épicéa, le hêtre et le pin sylvestre. Cette formation est moins résistante au froid et demande une humidité atmosphérique élevée.

La végétation secondaire comprend des forêts de bouleaux (*Betula pendula*) sur des sols siliceux, secs et drainés; des forêts de tremble (*Populus tremula*) sur des sols siliceux et humides; des pâturages et des tourbières.

3. La forêt de hêtre (de 1000 à 1500 m). C'est le type de végétation le plus répandu dans les Balkans. Cette forêt est souvent mélangée avec l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*), le charme (*Carpinus betulus*) et le châtaignier (*Castanea sativa*).

4. La forêt mésothermique de chêne et de charme (600 à 1000 m).

La végétation primaire comprend:

a) les forêts de chêne sessile (*Quercus sessiflora*) qui occupe les versants nord, avec la participation du tilleul (*Tilia argentea*), du chêne chevelu (*Quercus cerris*) et du charme (*Carpinus betulus*). Dans le sud-ouest, on trouve le chêne oriental (*Quercus polycarpa*) mélangé avec le hêtre oriental (*Fagus orientalis*), le chêne chevelu (*Quercus cerris*) et *Quercus freinetto*;

b) les forêts de pin d'Autriche (*Pinus nigra*) sur des sols châtaigniers, érodés et calcaires plutôt secs. Ces forêts sont très réduites par les activités de l'homme;

c) les forêts de châtaigniers (*Castanea sativa*), très peu répandues (Belassitzia et Balkan occidental);

d) les forêts de charme (*Carpinus betulus*) et de *Ostrya carpinifolia*, sur sols calcaires et humides.

5. La forêt xérothermique de chêne (600 à 700 m)

La végétation comprend:

a) les forêts de chêne chevelu (*Quercus cerris*) et de *Quercus freinetto* sur des sols secs. Les formations sont mixtes avec la participation du chêne pubescent (*Quercus pubescens*), de l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*) et du frêne (*Fraxinus excelsior*);

b) les forêts de chêne pubescent (*Quercus pubescens*) sur des sols secs et érodés, avec parfois du *Quercus coccifera*, *Carpinus orientalis* et *Paliurus spina-christi*.

Le long des rivières, on trouve l'aune (*Alnus glutinosa*), le chêne rouvre (*Quercus robur*), l'orme (*Ulmus campestris*), le peuplier (*Populus sp.*) et le saule (*Salix sp.*).

### *Ressources forestières*

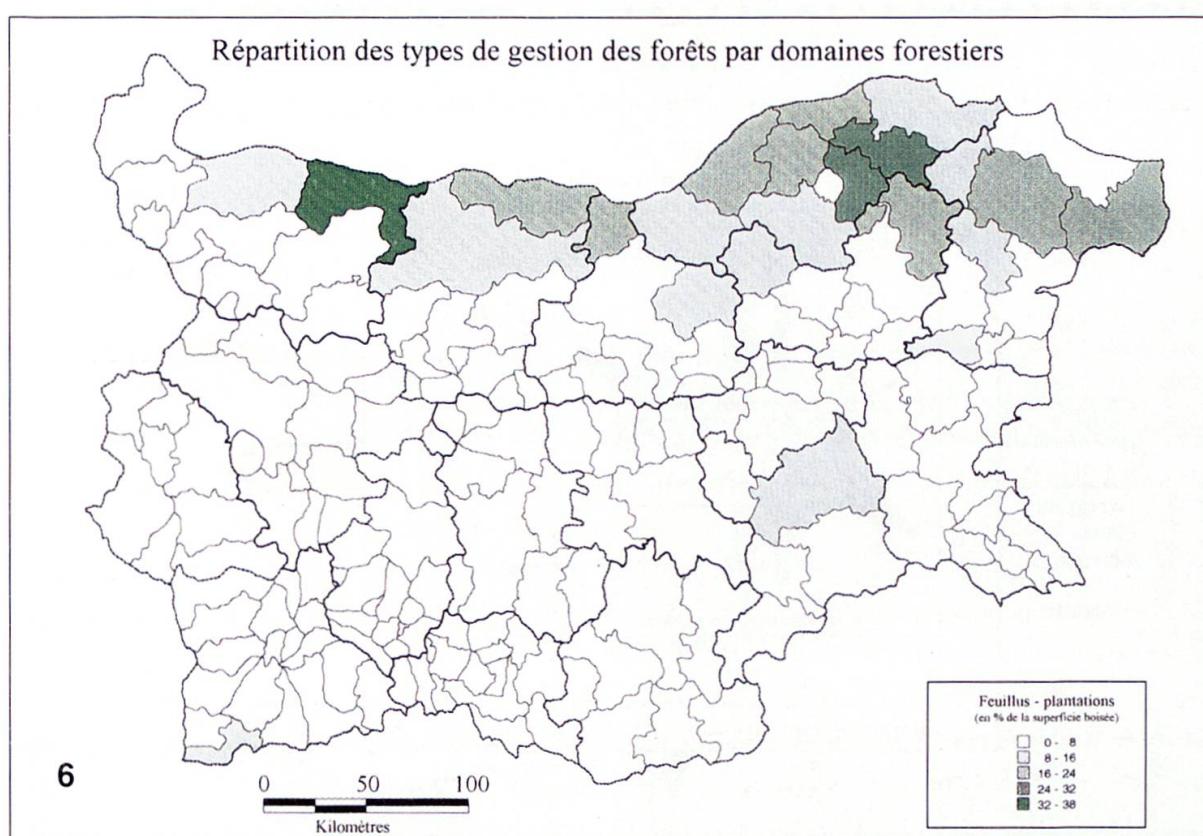
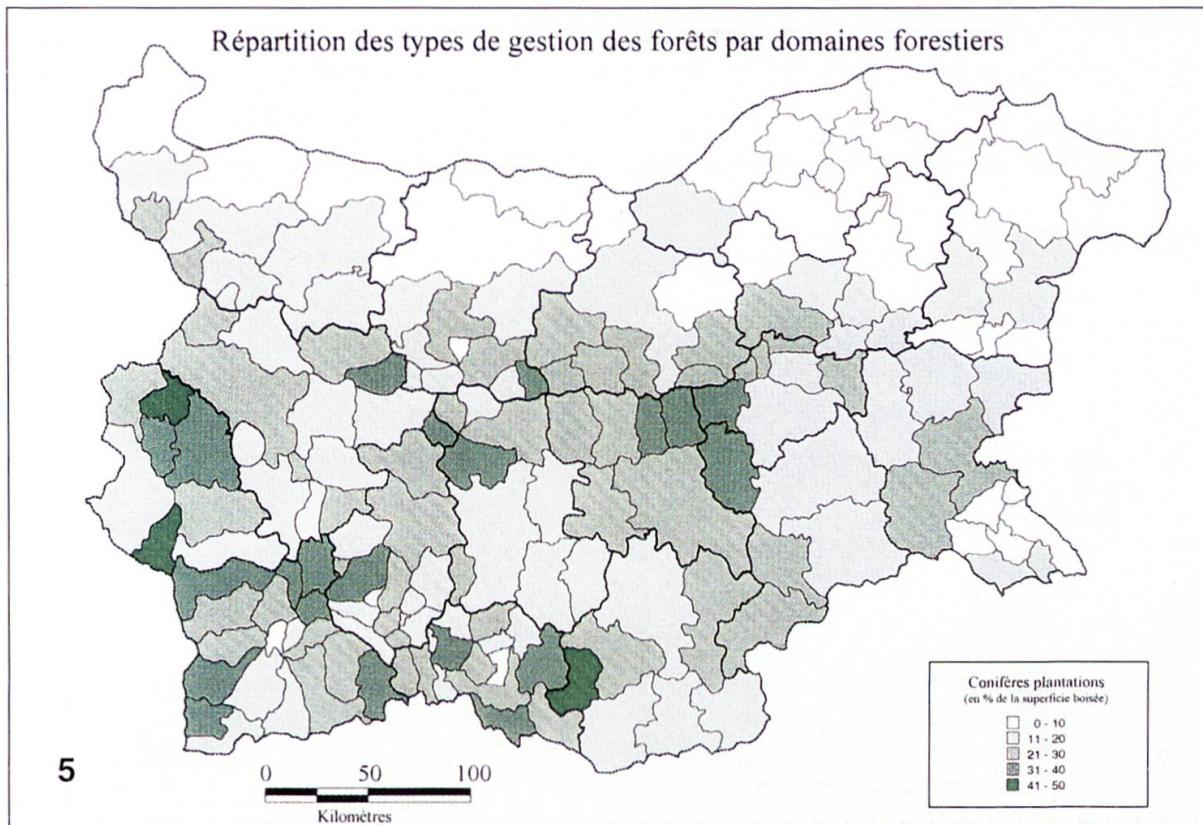
Le tiers du pays est occupé par des forêts dont l'âge moyen des arbres est de 42 ans (BOZINOV & RAFAILOV, 1994). Les conifères (forêts naturelles et plantations) correspondent au 40% du volume total en bois, sur 33% de la superficie boisée (séquestration de  $2,6 \cdot 10^8$  t C. DUVIGNEAUD, 1974; RAMADE, 1989); les feuillus en futaie, 22% de la surface et le taillis, 45%. Ce dernier a un rendement en bois de sciage nettement inférieur aux forêts naturelles (conifères, feuillus), celles-ci recouvrent une superficie restreinte (10%), avec un renouvellement insuffisant. Ce n'est que dans la haute montagne où l'activité de l'homme est faible que la conservation des forêts est la meilleure (A.L.P., 1995).

Pour des raisons économiques le reboisement en conifères a été très important (cf. fig. 5), avec une action plus modeste concernant les feuillus (cf. fig. 6); une plantation intensive de peupliers est réalisée pour la production de pâte à papier.

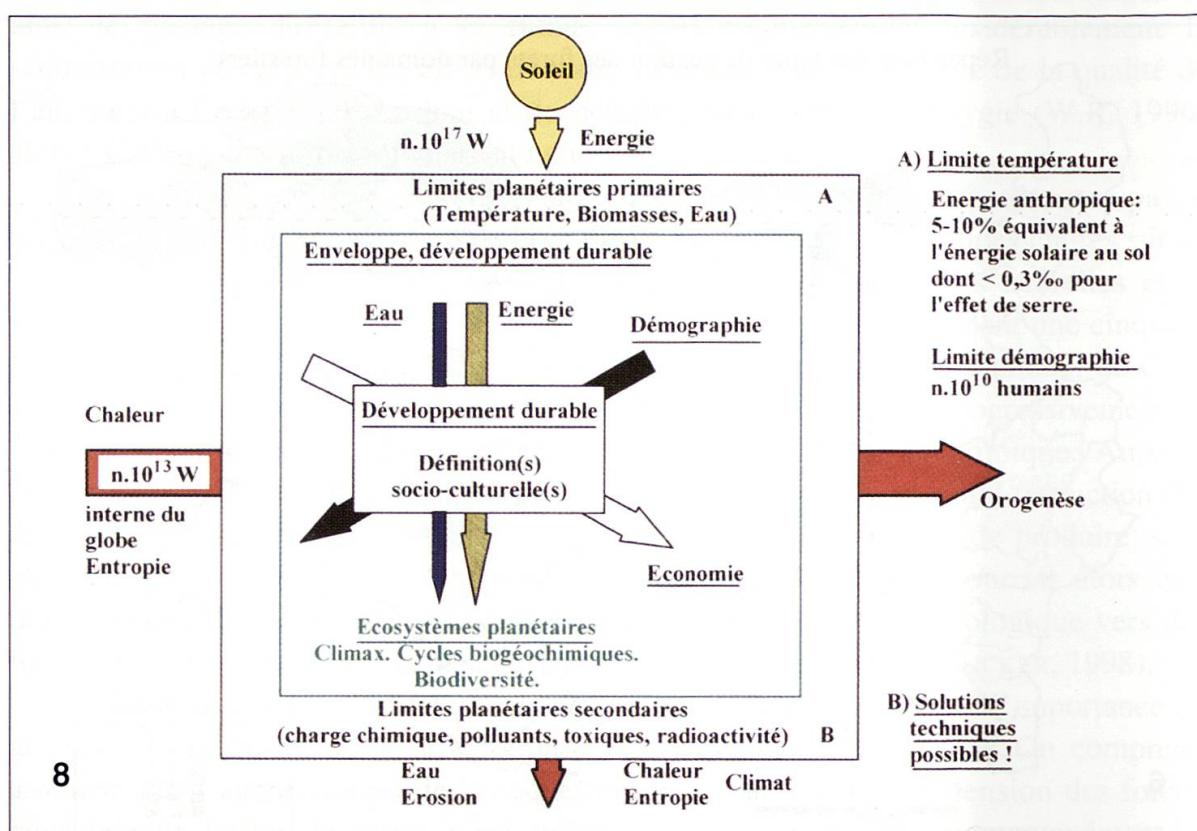
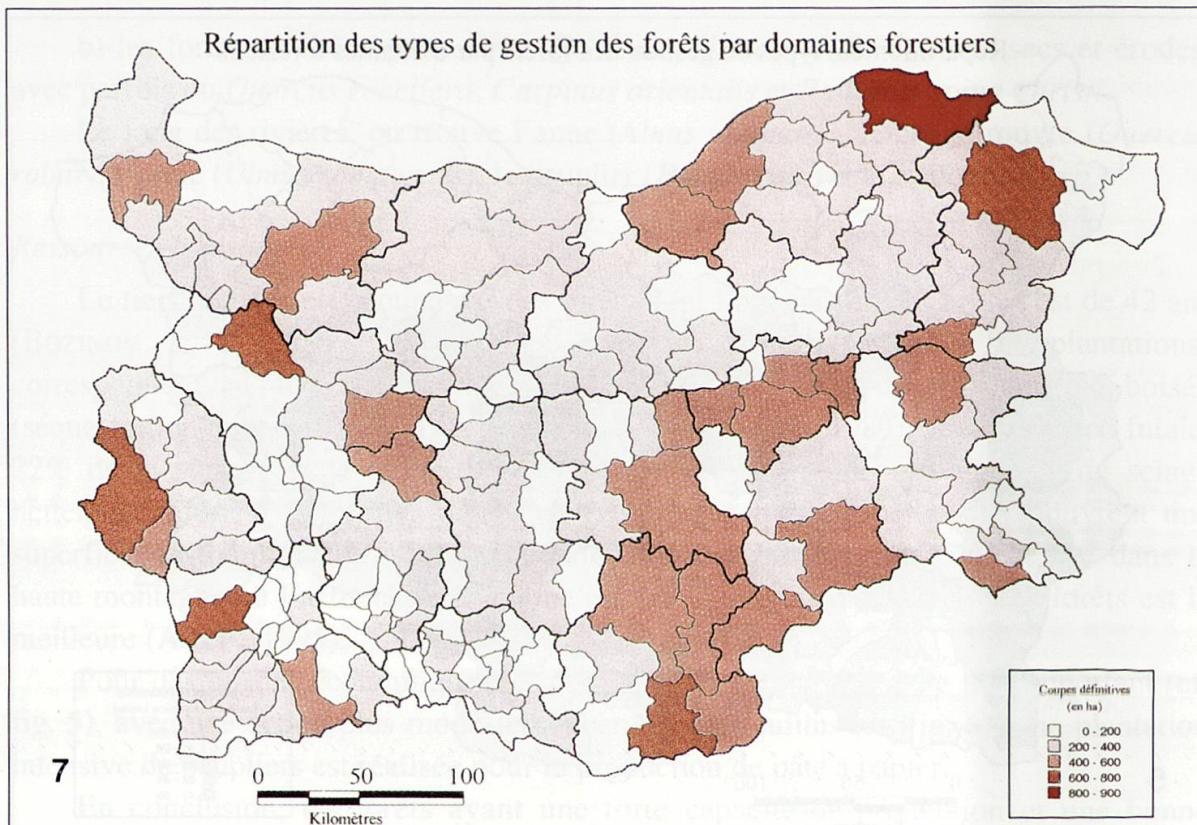
En conclusion, les forêts ayant une forte capacité de production et une bonne gestion sont plutôt rares et dispersées. Des améliorations de la gestion sont nécessaires: ainsi le passage du taillis à la futaie, lequel augmenterait considérablement la séquestration en carbone. Un effort doit aussi être fait dans le contrôle de la qualité de l'air, suite à l'emploi du charbon et du pétrole comme source d'énergie (W.R. 1996-1997). Celle-ci doit être diminuée à long terme.

Le passage à une gestion durable demande une exploitation qui ne dépasse pas le taux annuel moyen de production de bois par la forêt et d'éviter les coupes claires sur de trop grandes surfaces (cf. fig. 7). Une meilleure gestion des forêts actuelles et le reboisement d'un supplément de 10% de la surface permettraient, pendant une cinquantaine d'années ( $2 \cdot 10^9$ t.CO<sub>2</sub>), non seulement de compenser l'incrément annuel de CO<sub>2</sub>, suite à l'augmentation de l'emploi d'énergies fossiles, mais encore, progressivement de compenser partiellement le volume de CO<sub>2</sub> issu de l'activité économique. Ainsi la Bulgarie pourrait se situer près d'une juste équpartition du CO<sub>2</sub> mondial (réduction des 2/3 de la valeur du volume actuel), que chaque nation serait en droit de produire, sans changement climatique dû à l'homme. Cette période de 50 ans, pourrait alors être utilisée pour promouvoir et faciliter la transition énergétique et technologique vers des formes d'énergie ayant peu ou pas d'effets sur le climat (RICHARD & TUCKER, 1998).

Le tableau 2 met en évidence la disparité de quelques pays face à l'importance de la masse forestière et de la production de CO<sub>2</sub> par voie économique. On comprend aisément que l'augmentation de la séquestration de carbone par l'extension des forêts, pour ralentir l'effet de serre, n'est qu'une solution applicable, momentanément, à quelques pays, tropicaux pour la plupart, et qu'en aucun cas elle ne peut se substituer à un changement dans l'emploi de l'énergie, l'effet de la séquestration cessant au moment



FIGS 5-6: 5. Plantation de conifères (% de la surface boisée). 6. Plantation de feuillus (% de la surface feuillue)



Figs 7-8: 7. Exploitation forestière (coupes définitives). 8. Schéma du conditionnement général planétaire (cf. texte).

TABLEAU 2: Distribution (%) des forêts dans quelques pays ( $m^2/\text{habitants}$ ). Production anthropique de gaz carbonique par année et par habitant. Conditions générales d'équilibre pour  $10^{10}$  habitants.

Espace	surface forêts km <sup>2</sup>	% S	$m_2/H$	tCO <sub>2</sub> /H	tCO <sub>2</sub> /an
Monde	$4,179 \cdot 10^7$	31,9	$7,5 \cdot 10^3$	4,1	$2,2 \cdot 10^{10}$
Bulgarie	$4,048 \cdot 10^4$	36,5	$4,56 \cdot 10^3$	6,0	$5,4 \cdot 10^7$
Suisse	$1,252 \cdot 10^4$	31,7	$1,8 \cdot 10^3$	6,3	$4,0 \cdot 10^7$
Japon	$2,521 \cdot 10^5$	67,0	$2 \cdot 10^3$	8,7	$1,0 \cdot 10^9$
USA	$2,981 \cdot 10^6$	31,1	11,06	19,1	$4,5 \cdot 10^9$
Chine	$9,950 \cdot 10^5$	12,0	$1,0 \cdot 10^3$	2,2	$2,3 \cdot 10^9$
<b>Economie mondiale:</b> $2,2 \cdot 10^{10}$ tCO <sub>2</sub> /an; $1,6 \cdot 10^{10}$ tO <sub>2</sub> /an					
<b>Nature:</b> $2,4 \cdot 10^{11}$ tCO <sub>2</sub> /an; $1,8 \cdot 10^{11}$ tO <sub>2</sub> /an (photosynthèse)					
<b>Equilibre:</b>					
<b>Respiration:</b> $10^{10}$ Humains: $1,6 \cdot 10^{10}$ tCO <sub>2</sub> /an; $1,2 \cdot 10^{10}$ tO <sub>2</sub> /an					
<b>Economie:</b> $10^{10}$ Humains: $1,1 \cdot 10^{10}$ tCO <sub>2</sub> /an; $0,8 \cdot 10^{10}$ tO <sub>2</sub> /an					
<b>Energie max.:</b> $2,5 \cdot 10^{23}$ J/an. <b>Nature:</b> $2,6 \cdot 10^{23}$ J/an					

où le climax forestier a été atteint (50 à 150 ans, selon les cas). Une telle approche demanderait aussi qu'une bourse au CO<sub>2</sub> soit établie dans l'esprit d'une péréquation du volume de CO<sub>2</sub> entre les nations, en fonction de la surface du pays, de la démographie et des propriétés écologiques. Ainsi un marché pourrait s'établir, selon le stock de droits d'émettre du CO<sub>2</sub> ou au contraire du volume de réduction à faire pour entrer dans l'enveloppe globale, compatible avec un climat stable (CULLET & KAMERI-MBOTE, 1998; LEEMANS, 1998; MULONGOY *et al.*, 1998).

## LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Les figures 8, 9, 10 illustrent de manière schématique l'organisation générale du fonctionnement planétaire et local (Bulgarie). Le système, hors de l'équilibre thermodynamique, est entraîné par l'énergie solaire (climat, cycle de l'eau, photosynthèse) et modulé par l'énergie géothermique (orogenèse, volcanisme). L'équilibre thermique global, nécessaire au maintien d'un équilibre dynamique climatique, a pour conséquence une limitation, pour l'activité humaine, de l'emploi d'énergies fossiles (amplification de l'effet de serre) et atomiques (effet thermique supplémentaire), sources d'un déséquilibre progressif (au fur et à mesure de l'augmentation de la consommation annuelle), dans la balance thermique entre le soleil et la terre; le flux d'énergie que cette dernière peut évacuer dans l'espace, sans changer de température, étant limité aux

propriétés physiques d'échange de la planète (BERGER, 1992; BUDIKO, 1986; GASSMANN, 1994, 1998).

Le changement climatique étant de plus en plus probable, il faut substituer à ces énergies polluantes des énergies renouvelables et géothermiques: ceci dans un délai de 50 à 100 ans au vu du coût des effets induits par l'augmentation de la température de quelques degrés. L'emploi de l'énergie solaire est lui-même limité par les surfaces à disposition (accès à la lumière) et le rendement thermodynamique et technique des différents procédés utilisables. Plus que le manque de ressources, c'est l'effet thermique et les restrictions d'accès au soleil qui constituent les réelles limites à la quantité annuelle d'énergie que l'humanité pourrait utiliser, sans inconvénient majeur (cf. tableau 3), la matière vivante et les écosystèmes étant très sensibles à la température.

Si l'on estime à  $5,3 \cdot 10^{24}$  J/an, le potentiel de l'énergie solaire s.l. utilisable au sol et la nécessité de réduire de 50% environ l'emploi de l'énergie à fossiles à effet de serre, il devient possible d'établir une équpartition des énergies solaires s.l., fossiles et atomiques, à l'équilibre climatique viable; ceci en tenant compte de la dimension des pays ayant reçu une équpartition de la population, dans une valeur globale allant de  $10 \cdot 10^9$  à  $3 \cdot 10^{10}$  habitants; cette zone étant compatible avec les enveloppes de viabilité physiques, chimiques et biologiques (S.E.B.E.S., 1993). L'équation de distribution (cf.

TABLEAU 3: Situation planétaire à l'équilibre (éq.) dynamique thermique (m: monde; r: région, pour une population de  $10^{10}$  humains). Equipartition de la distribution des différentes formes d'énergie (renouvelable: ren; non-renouvelable à effet de serre ou à effet thermique simple: atomique de type nouveau). L'énergie primaire est exprimée en joules par année. La consommation (act.) et la production (pro.) actuelles sont présentées. k: facteur de modulation.

<u>Energie : équilibre dynamique thermique (éq.)</u>				<u>Limites : <math>10^{10}</math> H.</u>	
Espace	$E_{act.}$	$E_{pro.}$	$E_{eq.}$ ren.	$E_{eq.}$ effet serre	$E_{eq.}$ atomique nouvelle
<b>E. solaire au sol</b> : $5,3 \cdot 10^{24}$ J/an					
<b>Activités humaines</b> : $3,5 \cdot 10^{20}$ J/an					
				$E_{r.eq.} = k \frac{E_{M.eq.}}{P_{M.eq.}}$	$P_{r.eq.}$
Monde (M)	$3,5 \cdot 10^{20}$ J/an	$3,5 \cdot 10^{20}$ J/an	$2,5 \cdot 10^{23}$ J/an	$1,7 \cdot 10^{20}$ J/an	$1,2 \cdot 10^{21}$ J/an
Bulgarie(r)	$9,0 \cdot 10^{17}$	$3,5 \cdot 10^{17}$	$3,0 \cdot 10^{20}$	$2,0 \cdot 10^{17} *$	$1,4 \cdot 10^{18}$
Suisse (r)	$1,0 \cdot 10^{18}$	$3,7 \cdot 10^{17}$	$1,0 \cdot 10^{20}$	$6,8 \cdot 10^{16} *$	$4,8 \cdot 10^{17}$
Japon (r)	$1,8 \cdot 10^{19}$	$2,9 \cdot 10^{18}$	$1,0 \cdot 10^{21}$	$6,8 \cdot 10^{17} *$	$4,8 \cdot 10^{18}$
USA (r)	$7,8 \cdot 10^{19}$	$6,3 \cdot 10^{19}$	$2,5 \cdot 10^{22}$	$1,7 \cdot 10^{19}$	$1,2 \cdot 10^{20}$
Chine (r)	$2,8 \cdot 10^{19}$	$3,1 \cdot 10^{19}$	$2,6 \cdot 10^{22}$	$1,7 \cdot 10^{19}$	$1,3 \cdot 10^{20}$

tableaux 3 et 4) comporte un paramètre  $k$ , permettant, si nécessaire, une modulation de cette distribution pour tenir compte de l'environnement local et de son potentiel éventuel.

En utilisant cette méthodologie, on constate que pour les populations limites proposées, il y a suffisamment d'énergie à disposition ( $5,8 \cdot 10^{10}$  J/H/an actuellement, pour un potentiel de  $2,5 \cdot 10^{13}$  J/H/an et  $8,3 \cdot 10^{12}$  J/H/an, respectivement pour  $10^{10}$  et  $3 \cdot 10^{10}$  habitants). Cela suppose évidemment de nombreuses adaptations techniques,

TABLEAU 4: Situation démographique dans quelques pays (population, densité, % de la surface terrestre occupée). Equipartition d'une population de  $10^{10}$  habitants ou de  $3 \cdot 10^{10}$  en fonction de la surface terrestre.  $k$ : facteur de modulation.

<b>Population : équilibre dynamique (H.)</b>					
<b>Espace</b>	<b>1993</b>	<b>densité</b>	<b>% S.u.</b>	<b>S.u.r.</b>	
				<b>P<sub>éq.r.</sub></b>	<b>= k. P<sub>éq.M</sub></b>
				<b>S.u.M.</b>	
Monde (M)	$5,54 \cdot 10^9$ H	$60,2$ H/km <sup>2</sup>	1000	$1,0 \cdot 10^{10}$ H	$3,0 \cdot 10^{10}$ H
Bulgarie (r)	$8,95 \cdot 10^6$ H	$81$ H/km <sup>2</sup>	1,2	$1,2 \cdot 10^7$ H	$3,6 \cdot 10^7$ H
Suisse (r)	$6,40 \cdot 10^6$ H	$169$ H/km <sup>2</sup>	0,4	$4,0 \cdot 10^6$ H	$1,2 \cdot 10^7$ H
Japon (r)	$1,20 \cdot 10^8$ H	$335$ H/km <sup>2</sup>	4,0	$4,0 \cdot 10^7$ H	$1,2 \cdot 10^8$ H
U.S.A.(r)	$2,38 \cdot 10^8$ H	$28$ H/km <sup>2</sup>	101,0	$1,0 \cdot 10^9$ H	$3,0 \cdot 10^9$ H
Chine (r)	$1,06 \cdot 10^9$ H	$126$ H/km <sup>2</sup>	104,0	$1,1 \cdot 10^9$ H	$3,1 \cdot 10^9$ H

économiques et socio-culturelles. On constate aussi que la crise des ressources ne peut être que conjoncturelle et momentanée.

La comparaison de la situation au climax, dans une Bulgarie hypothétique (estimation) où l'homme serait absent permet d'apprécier l'impact humain actuel (figs 9 et 10) sur l'environnement. Un bon indicateur est constitué par l'estimation des apports supplémentaires en CO<sub>2</sub> ( $5,4 \cdot 10^7$ /an), ainsi que l'importation d'oxygène ( $3,8 \cdot 10^7$  t/an) suite à l'activité économique. Le déséquilibre induit, par rapport à la nature locale, est d'environ 1/3 hors de la valeur d'équilibre. Les conditions générales de viabilité pour la Bulgarie, dans le cadre d'une péréquation mondiale entre les nations ( $5,3 \cdot 10^{24}$  J/an;  $10^{10}$  à  $3 \cdot 10^{10}$  H) seraient les suivantes (cf. tableaux 3 et 4):  $3,0 \cdot 10^{20}$  J/an dont  $2,0 \cdot 10^{17}$  J/an pour l'effet de serre (charbon, pétrole) et  $1,4 \cdot 10^{18}$  J/an pour de l'énergie atomique nouvelle; ceci pour une population de  $1,2 \cdot 10^7$  H ( $108$  H/km<sup>2</sup>) à  $3,6 \cdot 10^7$  H ( $316$  H/km<sup>2</sup>).

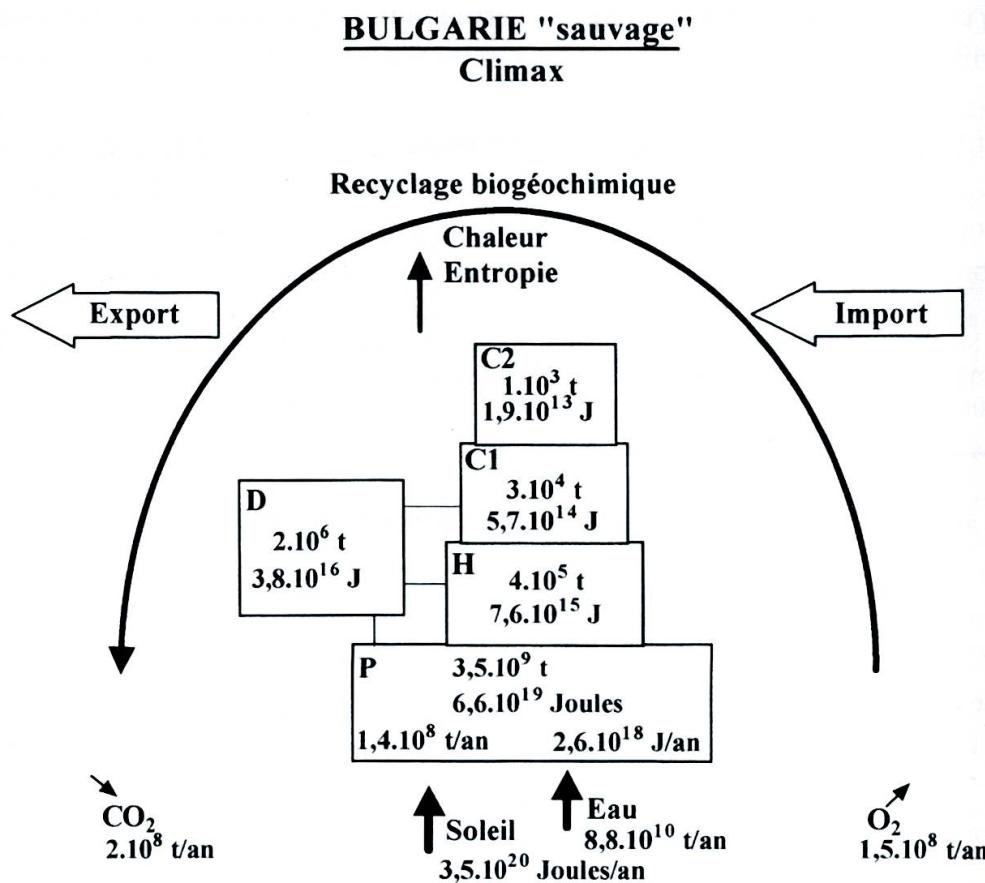


FIG. 9: Modèle écologique climacique théorique du territoire bulgare en l'absence de l'homme. P: végétaux verts (poids sec) producteurs primaires d'aliments. H: herbivores. C: carnivores. D: détritivores. Au climax toute la production annuelle est consommée et le bilan gazeux CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> est égal à 1 (volumes): photosynthèse + respiration. Le bilan du CO<sub>2</sub> fixé et consommé est égal à 1, il en est de même pour l'oxygène.

La forêt pourrait être légèrement augmentée et la surface agraire actuelle ( $4,3 \cdot 10^4$  km<sup>2</sup>), en raison de sa grande fertilité (vallée du Danube et de la Maritsa), serait suffisante pour nourrir les populations indiquées. En 1993, malgré une pratique agricole restreinte et des rendements moyens, la balance économique agricole était positive. La Bulgarie se trouvant en deçà de l'équilibre démographique dynamique de son enveloppe de viabilité planétaire, c'est la transition énergétique vers des formes thermiquement et chimiquement non-polluantes qui est le facteur de première nécessité, en vue d'une stabilisation dynamique du climat dans les 50 ans à venir (hydroélectricité, biomasse, énergie solaire, éolienne, géothermique, etc.) L'analyse proposée concernant les conditions générales d'un développement durable met en évidence que la Bulgarie dispose de nombreux atouts potentiels pour entrer progressivement dans cette configuration.

C'est dans le cadre d'un modèle planétaire général, intégrant les effets d'enveloppes des propriétés physiques, chimiques et biologiques et les articulant dans un réseau de compartiments, constitué par les nations et grandes régions du globe, qu'il est possible, par approche successive d'approximations, d'établir les limites extrinsèques à l'organisation et finalités humaines (bases de données géoréférencées). Ensuite par

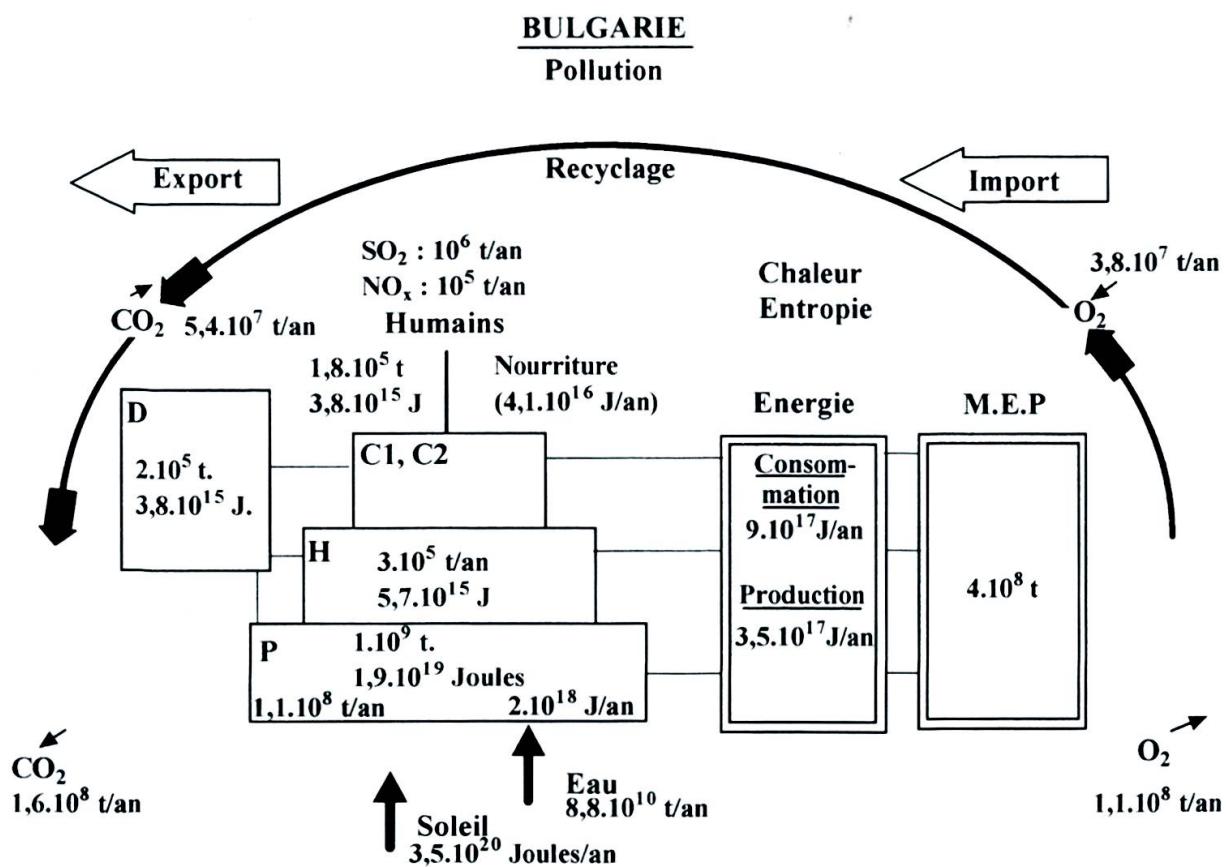


FIG. 10: idem à fig. 9, mais en présence de l'activité humaine (consommation, production d'énergie; masse économique permanente, M.E.P.: poids de tout ce que l'homme produit et transforme). Le bilan CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> naturel est perturbé par une production supplémentaire de CO<sub>2</sub> (charbon, pétrole:  $5.4 \cdot 10^7$  t/an) et l'importation en conséquence (déficit) d'oxygène ( $3.8 \cdot 10^7$  t/an). Nature: seuls le CO<sub>2</sub> fixé et l'oxygène consommé sont représentés.

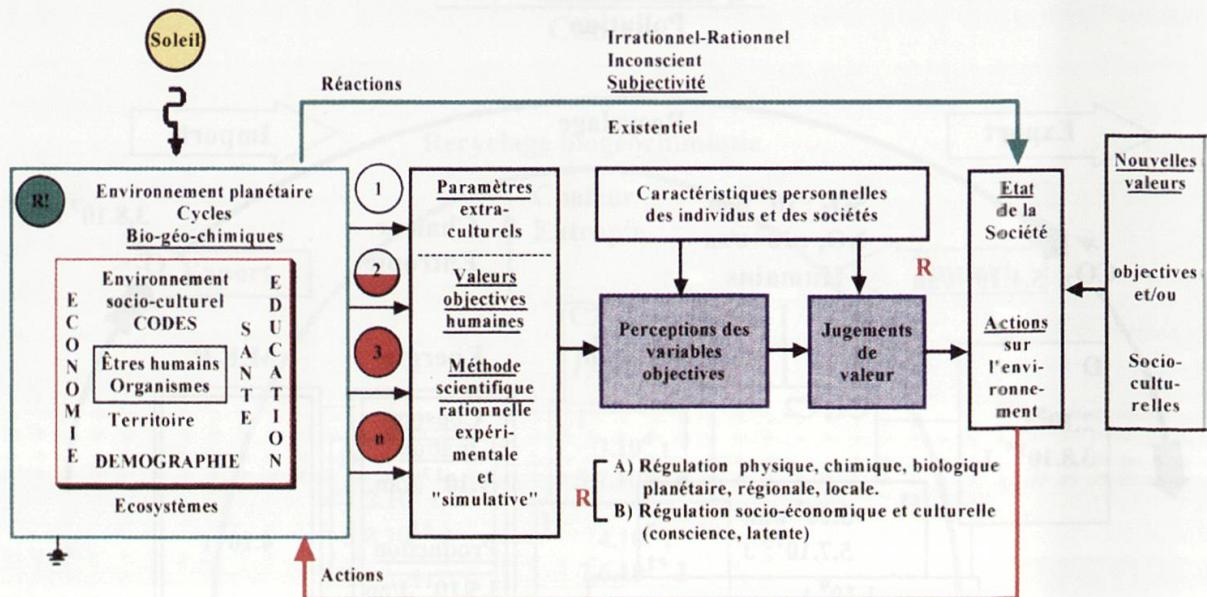
simulation selon les logiques sous-jacentes ou supposées reliant les éléments du système général, connaissant ou introduisant des mécanismes de régulation (constance; tendance), on peut déterminer des enveloppes environnementales pour un développement durable et viable, à ce titre (fig. 11). Il appartient alors aux sociétés, en connaissance de cause, de créer une organisation socio-culturelle et économique adaptée, parce que s'inscrivant dans les contraintes minimales de l'enveloppe locale. Ceci est possible sur le plan technique tout en valorisant l'humain dans son originalité et ses degrés de liberté (BROWN, 1998; GREPPIN, 1998; ODUM, 1996; PILLET, 1993; PILLET & ODUM, 1987).

*Nous remercions le professeur Charles HUSSY, directeur du CUEH pour son aide efficace, ainsi que la Fondation KATZAROVA pour son financement (G. IORDANOV).*

## RÉSUMÉ

Une méthodologie générale en vue d'un développement durable est présentée. Son application locale est faite, dans le cas de l'interaction homme-environnement-société,

### MODELE HOMME-SOCIETE-ENVIRONNEMENT



**OBJECTIFS:** Insertion viable et développement durable (Enveloppes minimales de viabilité, physique, chimiques et biologiques).  
**MOYENS:** Approche systémique, compartimentale et analytique. Logiques structuro-fonctionnelles et mécanisme de régulation. Géomatique dynamique. Thermodynamique en réseau.

FIG. 11: Méthodologie générale d'approche de l'environnement en vue d'un intégration avec l'activité humaine.

en Bulgarie, par le biais des enveloppes de viabilité physiques, chimiques et biologiques. Les caractéristiques forestières sont esquissées de même que la capacité de séquestration en carbone.

**Mots-clés:** développement durable, environnement, forêts, Bulgarie.

### BIBLIOGRAPHIE

- AgroLes Projekt. 1995. *Cartes des domaines forestiers d'Etat*. Ministère de l'Agriculture, Sofia.
- BERGER, A. 1992. *Le climat de la terre*. De Boek Université, Bruxelles.
- BOZINOV, H. & G. RAFAILOV. 1994. *Les forêts et leurs produits, profils nationaux: Bulgarie*. Ed. Nations Unies, Genève.
- BROWN, M. 1998. *Energy from biosphere to society*. In : the co-action between living systems and the planet (Greppin, H., Degli Agosti, R., Penel, Cl. eds). University of Geneva, Genève, in Press.
- BUDIKO, M.I. 1986. *The evolution of the biosphere*. D. Reidel Pub., Dordrecht.
- CAMBESSEDES, O. 1993, 1995. *Atlas économique mondial*. Ed. EOC, Paris.
- C.I. Rio. 1995. *Eléments pour un concept de développement durable*. Dunod, Paris.
- Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement. 1998. *Notre avenir à tous*. Ed. du Fleuve, Montréal.
- GULLET, P. & P. KAMERI-MBOTE. 1998. Joint implementation and forestry projects: conceptual and operational fallacies. *International Affairs*, 74: 393-408.
- DAKOV, M. 1990. *Analyse du potentiel naturel des montagnes bulgares*. Académie bulgare des sciences, Sofia.

- DEGLI AGOSTI, R., H. GREPPIN & K. FEDRA. 1998. GIS and biological parameters as indicators of the environmental state. In: the co-action between living systems and the planet (Greppin, H., Degli Agosti, R., Penel, Cl., eds). University of Geneva, Genève, in Press.
- DUVIGNEAUD, P. 1974. *La synthèse écologique*. Doin, Paris.
- FEDRA, K. 1994. GIS and environmental modeling. 35-50. In: environmental modeling with GIS (Goodchild, M.F., Park, B.O. and L.T. Steyart, eds). Oxford University Press. New York.
- FEDRA, K. 1996. Multimedia environmental information systems: wide-area networks. GIS and expert systems. *GIS: Geo-information-system*, 9: 3-10.
- FEDRA, K., H. GREPPIN, A. HAURIE, C. HUSSY, HY, DAO & R. KANALA. 1996. Genie: an integrated environmental information and decision support system for Geneva. *Archs Sci. Genève*, 49: 247-263.
- GAßMANN, P. 1994. *Was ist los mit dem Tribhaus Erde*. Teubner, Stuttgart.
- GAßMANN, P. 1998. Greenhouse effect: modeling and reality. In: the co-action between living systems and the planet (Greppin, H., Degli Agosti, R., Penel, Cl., eds). University of Geneva, Genève, in Press.
- GREPPIN, H. 1988. *L'interface homme-nature*. Méd. & Hyg., 46: 15-19.
- GREPPIN, H. 1993a. Ecologie humaine et mécanismes de régulation. *Méd. & Hyg.*, 51: 1790-2.
- GREPPIN, H. 1993b. Enveloppes de viabilité. *Nouvelles (C.U.E.H., Genève)*, 16: 43-53.
- GREPPIN, H. 1998. The concept of physical, chemical and biological envelope of planetary and regional viability and sustainability. In: the co-action between living systems and the planet (Greppin, H., Degli Agosti, R., Penel, Cl., eds). University of Geneva, Genève, in Press.
- IORDANOV, G. 1997. Analyse du potentiel forestier de la Bulgarie à l'aide des outils SIG. *Mémoire certif. géomatique*. C.U.E.H., Université de Genève.
- LEEMANS, R. 1998. The challenge of global change research: defining interactions between the biosphere, land use and evolution. In: the co-action between living systems and the planet (Greppin, H., Degli Agosti, R., Penel, Cl., eds). University of Geneva, Genève, in Press.
- LEMOIGNE, J.L. 1990. *La modélisation des systèmes complexes*. Dunod. Paris.
- MULONGYO, K.J., J. SMITH, P. ALIROL, & A. WITTHOEFT-MUEHLMANN. 1998. Are joint implementation and the clean development mechanism opportunities for forest sustainable management through carbon sequestration project? *International Academy of Environment*, Geneva.
- O.C.D.E. 1991. *L'état de l'environnement*. Paris.
- O.C.D.E. 1995. *Données O.C.D.E. sur l'environnement*, compendium 1991. Paris.
- ODUM, H.T. 1996. *Environmental accounting*. J. Wiley, New York.
- Office Statistique de la Bulgarie. 1996. *Annuaire statistique*, Sofia.
- PILLET, G., ODUM, H.T. 1987. *E<sup>3</sup>, énergie, écologie, économie*. Georg, Genève.
- PILLET, G. 1993. *Economie écologique*. Georg, Genève.
- RAMADE, F. 1987. *Les catastrophes écologiques*. McGraw-Hill, Paris.
- RAMADE, F. 1989. *Eléments d'écologie*. McGraw-Hill, Paris.
- RICHARD, J.F. & R.P. TUCKER. 1988. *World deforestation in the twentieth century*. Duke University Press, London.
- Royal Swedish Academy of Sciences. 1994. Integrating earth system science. *Ambio*, 23: 4-403.
- SCHLESINGER, W.H. 1991. *Biogeochemistry. An analysis of global change*. Academic Press, New York.
- SEBES. 1993. *L'explosion démographique contre le développement durable*. Médecine & Hygiène éd., Genève.
- WRI. 1996. *World resources, a guide to the global environment*. Oxford University Press, New York.

