

Open ecosystems[1]

Références

- [1] William J. BOND. *Open ecosystems : ecology and evolution beyond the forest edge*. Oxford, United Kingdom ; New York, NY : Oxford University Press, 2019. ISBN : 978-0-19-185031-8.

1 Ecosystème ouvert

Bond ne définit pas le terme précisément, mais de ce que je comprends il s'agit de zones sans arbres densément répartis (en opposition à la forêt) et qui ne sont pas amenées à le devenir (sauf changement de régime qui justement transformerait l'écosystème ouvert en écosystème fermé), à cause d'éléments internes à l'écosystème qui les maintiennent dans cet état.

D'ailleurs Bond note bien à la toute fin du livre, dans la conclusion, qu'un problème constant dans l'écriture du livre a été d'éviter le problème consistant à donner une définition de ce qui fonde l'écologie d'un système ouvert, car il n'y a pas suffisamment d'études pour l'inférer. L'intolérance des herbacées à l'ombre semble être le critère fondamental mais on manque de critères généraux de ce type. On comprend donc a posteriori qu'il définisse un écosystème ouvert comme étant "ce qui n'est pas un écosystème fermé".

Les écosystèmes ouverts sont généralement de plus faible biomasse que les écosystèmes fermés.

2 Exemple introductif du fynbos



Le fynbos est une formation végétale naturelle caractéristique de l'Afrique du Sud (Cap occidental, climat méditerranéen). Sa présence n'est pas la conséquence de la déforestation. Ses plantes sont intolérantes à l'ombre. Le fynbos regroupe une grande diversité de plantes ce qui suggère une longue histoire évolutive. Cette biocénose n'est donc pas ce qui resterait d'une mythique forêt primaire. Il faut se méfier du vocabulaire qui présenterait un écosystème ouvert ancien comme un stade précoce de succession. En l'occurrence c'est faux.

Dans la mesure où les plantes sont capables de modifier les caractéristiques du sol pour se développer, il ne faudrait pas déduire que c'est le type de sol qui explique à lui seul la présence du fynbos. C'est un environnement qui brûle régulièrement tous les dix ou trente ans. Les peuplements d'arbres ont rarement plus de cinquante ans. A partir des années 1970, les chercheurs ont compris le rôle du feu dans l'écosystème. Entre 2000 et 2020, il y a eu une explosion des recherches sur le rôle du feu en écologie.

Contrairement au fynbos, les arbres au sein des peuplements ne brûlent pas facilement. Le feu pénètre rarement de plus de quelques mètres dans la forêt. La différence d'inflammabilité n'est pas due à la quantité de biomasse mais à sa disposition structurelle. Le fynbos, bien que sur un sol très pauvre en nutriments, est régulièrement envahi par les arbres, tels que des pins sortis des plantations.

Le fynbos est un type d'écosystème ouvert. Les écosystèmes ouverts constituent la norme ailleurs qu'en Europe et en Amérique du Nord. Chaparral en Californie. Matorral au Chili et dans le bassin méditerranéen. Polonyna en Ukraine.

3 Rôle des mégaherbivores dans les écosystèmes ouverts

Les mégaherbivores (plus de 1000kg) n'ont pas de prédateurs naturels et donc la taille maximale de leur population sur un espace donné sera déterminée par la quantité de végétation.

Les mégaherbivores ont eu un rôle crucial au Pléistocène. D'après Zimov leur déclin aurait grandement contribué à la transformation de la steppe en toundra. Tentative de restaurer un "parc Pléistocène" avec des herbivores pour réduire le changement climatique.

La mégafaune africaine est maintenant largement réduite aux aires protégées.

Dans une certaine mesure le feu peut être considéré comme un mégaherbivore généraliste et rapide.

4 Rôle du climat dans le développement des écosystèmes ouverts

Il n'y a vraisemblablement pas de bijection entre climat et type de végétation pérenne dans de nombreuses régions du monde, en particulier celles où il y a deux types de végétation en voisinages entremêlés comme forêts et prairies. Le système de Holdridge, publié dans les années 1950-1960, dispose d'un axe latitude (allant du polaire jusqu'au tropical) et d'un axe précipitation annuelle, et détermine un type de végétation associé. Les modèles de type Species Distribution Models sont des *climate envelope models* où l'existence de groupements de plantes en un lieu est expliqué exclusivement par le climat. Whittaker a développé en 1975 un modèle à deux axes température-précipitation déterminant les biomes principaux qui inclut pour la première fois une zone d'incertitude non-déterminée comprenant des "écosystèmes incertains", particulièrement entre 50 et 150 cm de pluie annuels et 10 et 30°C.

On pourrait penser qu'en climat tropical, la biomasse augmenterait automatiquement en fonction du gradient précipitation, or la couverture forestière n'augmente pas nécessairement graduellement des régions arides aux régions humides.

5 Rôle de la lumière sur les écosystèmes ouverts

Les herbacées avec une photosynthèse C4 sont caractéristiques des savanes. Les écosystèmes ouverts sont remarquablement intolérants à l'ombre. La photosynthèse C3 permet plus de tolérance à l'ombre.

La propagation des herbacées C4 a probablement eu lieu vers -30 Ma, et on ne peut donc pas la tenir pour directement responsable de la propagation des savanes qui a eu lieu vers -10 Ma.

6 Le feu comme élément structurant les écosystèmes ouverts

Wells a exploré dans les années 1960 les patterns de différents types de végétation en Californie centrale et a conclu que c'était le régime de feu qui différenciait les régions. Entre 2000 et 2020, il y a eu une explosion des recherches sur le rôle du feu en écologie. Dans certaines zones tempérées, il est possible que ce soit l'herbivorie qui soit l'élément structurant principal. Vera propose dans les années

2000 l'idée que l'Europe est aussi composée d'écosystèmes ouverts avec l'herbivorie mais l'hypothèse est controversée.

Les forêts humides tropicales (*rainforests*) d'Australie, formées de fourrés ligneux fermés, apparaissent comme des amas au milieu de vastes étendues de communautés pyrophiles sclérophylles. Il n'y a pas d'explications abiotiques. Les feux fréquents semblent être la meilleure explication de cette configuration spatiale où des écosystèmes fermés jouxtent des écosystèmes ouverts.

7 Epistémologie des *Dynamic Global Vegetation Models*

Les modèles DGVMs sont des modèles de simulation de la croissance des plantes développés dans les années 1990, qui ont notamment permis de tester à quoi ressembleraient les écosystèmes s'ils étaient déterminés exclusivement par le climat, et comment pourraient évoluer les zones qualifiées d'incertaines par Whittaker. Bond a contribué à certains de ces travaux.

8 Ancienneté des zones ouvertes hautement diverses

Le problème majeur de l'hypothèse selon laquelle un écosystème ouvert hautement diversifié serait le fruit de la déforestation humaine est qu'il ne permet pas de prendre en compte la durée nécessaire à la diversification des herbacées, qui peut nécessiter une histoire évolutive beaucoup plus longue qu'une période allant de la fin du Pléistocène jusqu'à aujourd'hui. Il peut y avoir des millions d'années de spéciation à l'oeuvre. Si on a une grande diversité et un grand *turnover* des espèces, avec de l'endémisme et des traits particuliers, l'hypothèse d'un écosystème ouvert de longue durée est à privilégier. Il peut y avoir une faune riche dans un écosystème ouvert.

Au contraire un environnement qui semble jeune, pauvre en animaux, en endémisme, avec un *turnover* des espèces faible est plus probablement lié à une déforestation humaine passée.

Pour tester une hypothèse de déforestation, il faut donc tester l'ancienneté de l'habitat et la spéciation des espèces en donne un ordre de grandeur. La domestication humaine du feu est ancienne (-500 000 ans environ) mais l'impact environnemental avant l'Holocène est incertain.

9 Le feu en savane

Le feu est fréquent quand la décomposition de la litière est lente à cause des propriétés des feuilles et du microclimat.

Le feu de savane se propage vite et est de faible intensité. La plupart des dégâts qu'il occasionne se situent sur les tiges dans la zone de flamme entre 1 et 3 mètres. (On est donc en deçà des 5 à 10 mètres des données GEDI de couvert de canopée qui caractériseront dans notre travail les zones de forêts).

10 *Green, Brown, Black worlds*

Terminologie de Bond pour décrire les zones selon l'élément fondamental qui détermine les types de végétation qu'on y trouve.

- Green world : le climat est l'élément déterminant majeur expliquant les types de végétation en présence. Monde déterminé par l'accaparement des ressources par les plantes et leur compétition.
- Brown world : l'herbivorie est l'élément déterminant majeur expliquant les types de végétation en présence.
- Black world : le feu est l'élément déterminant majeur expliquant les types de végétation en présence.

11 Action des systèmes sur les processus globaux

La compréhension du fait que les écosystèmes sont déterminés par le climat mais aussi rétroactivement par le biome qui modifie les caractéristiques abiotiques de l'écosystème a mis plus de temps

à se formaliser dans l'écologie terrestre que dans l'écologie aquatique. Dans l'écologie aquatique, les réactions des systèmes aquatiques face à des changements sont beaucoup plus rapides qu'en écologie terrestre, où ils peuvent prendre vingt ou trente ans.

Dans une certaine mesure, les plantes modifient l'environnement pour favoriser leurs conditions de survie. Les plantes façonnent partiellement leur environnement pour correspondre à leur niche écologique. Par exemple le sol peut déterminer les espèces mais elles en modifient les caractéristiques en retour.

La conception d'états alternatifs stables met l'accent sur *l'impact retour* de la biocénose sur le biotope.

12 Etats alternatifs stables

Le concept a émergé à la fin des années 1970. Il désigne les écosystèmes qui, après des perturbations mineures, redeviennent semblables à ce qu'ils étaient auparavant. Les implications de cette conception sont les suivantes.

- o Les perturbations font partie de l'écosystème. Elles ne sont pas restreintes à être des éléments ramenant aux premiers stades d'une succession écologique dont on fait implicitement l'hypothèse.
- o Les régimes de perturbation sélectionnent les traits des biomes et permettent donc de les comprendre. Typiquement les traits associés aux feux dans les environnements du *black world*. Cela permet aussi de mieux anticiper face au changement climatique quelle pourrait être la réaction de la faune, qui vit dans un écosystème qui peut être spécifiquement lié à une perturbation.
- o Les états alternatifs stables permettent d'imaginer des changements de biomes dont la cause n'est pas nécessairement climatique.
- o Cela permet de mettre en place des stratégies de conservation adaptées.
- o Les différences de ressources peuvent être envisagées comme la conséquence de mécanismes biologiques.

La paléoécologie a été l'un des éléments majeurs venant soutenir la théorie des ASS (*Alternative Stable States*), en permettant de montrer la durée d'existence parfois millénaire de certains écosystèmes ouverts et en montrant et datant dans certains lieux l'alternance du type d'écosystème. Les isotopes de carbone permettent notamment de différencier les présences anciennes des plantes C3 et C4.

13 Madagascar

On se demande ainsi si les plaines herbacées de Madagascar ne sont pas dans une certaine mesure un écosystème ouvert de longue durée que l'on n'aurait pas perçu avec la déforestation récente de l'île qui tend à nous pousser à voir la forêt comme élément de succession final partout sur l'île.

14 Amazonie

L'existence de la forêt amazonienne est intrigante compte-tenu de sa vulnérabilité au feu. Elle a peut-être résulté de la sélection d'espèces plus tolérantes au feu à sa lisière. Néanmoins l'association du vent au feu peut amener le feu profondément dans la forêt, donc l'hypothèse reste à valider.

15 Ecosystèmes ouverts dans les régions tempérées du Nord

L'ancienneté des écosystèmes ouverts dans les régions tempérées du Nord semble encore moins explorée qu'aux tropiques, à l'exception des travaux de Vera qui ne font pas consensus.

Dans certains hotspots (1500 espèces endémiques et diminution de 70% de la végétation "originelle") des régions tempérées du Nord, en particulier montagneux tels que le Caucase, l'Anatolie, les montagnes d'Asie Centrale, ce sont les mammifères qui semblent être les consommateurs majeurs maintenant la végétation ouverte. Un exemple de *brown world* selon la terminologie de Bond.

16 Traits fonctionnels des plantes des écosystèmes ouverts

En écosystème ouvert il y a des traits d'adaptation spécifiques au type de perturbation du milieu (herbivorie ou feu). L'écorce semble être la différence fondamentale entre les mondes *green* et *black*. Il y a aussi une isolation des bourgeons dans le monde du feu. Les défenses structurales aux stades juvéniles (par exemple les épines, mais aussi l'architecture) semblent être des traits caractéristiques du monde de l'herbivorie intensive.

En revanche, Tristan Charle-Dominique a étudié les traits liés aux ressources et a conclu qu'ils n'étaient pas spécifiquement liés aux écosystèmes ouverts ou fermés. Ce serait plutôt dans le *green world*, sans les perturbations survenant dans les écosystèmes ouverts, que la spécification des traits serait centrée sur les ressources puisque ce serait le facteur principal exclusif de survie.

Des plantes envahissant un système avec des traits différents pourraient suggérer un changement parmi les trois mondes *green*, *brown*, *black*.

17 Histoire des plantes

- -450 Ma : les plantes colonisent la terre émergée.
- -350 Ma : apparition des arbres.
- -300 Ma : les conifères apparaissent lors du Permien. Les forêts de conifères sont communes au Triassique et Jurassique de -250 Ma à -150 Ma.
- -140 Ma : émergence des plantes à fleurs.
- -90 Ma : propagation large des angiospermes (plantes à fleurs) à large échelle. D'abord paléotropiques puis latitudes tempérées. Les angiospermes étaient d'abord des buissons et herbacées. Les arbres à fleurs sont seulement arrivés vers la fin du Crétacé.
- -60 Ma : les angiospermes s'assemblent en forêts fermées depuis les tropiques et se répandent avec un pic vers -40 Ma.
- -30 Ma : propagation des herbacées C4.
- -25 Ma : premiers développements des savanes durant l'Oligocène dans un contexte de faible quantité de CO₂ dans l'atmosphère.
- -10 Ma : propagation des savanes. Dans le même temps recrudescence des feux, qu'on n'attribue pas aux hominidés. Les régimes de feux ont été plus élevés entre -350 Ma et -50 Ma.

Éon	Ère	Période	Début et fin (en millions d'années)	Durée (en millions d'années)
Phanérozoïque	Cénozoïque	Quaternaire (Pléistocène/Holocène)	2,588–0	2,588+
		Néogène (Miocène/Pliocène)	23,03–2,588	20,4
		Paléogène (Paléocène/Éocène/Oligocène)	66,0–23,03	42,9
	Mésozoïque	Crétacé	145,5–66,0	79,5
		Jurassique	201,3–145,0	56,3
		Trias	252,17–201,3	50,9
	Paléozoïque	Permien	298,9–252,17	46,7
		Carbonifère (Mississippien/Pennsylvanien)	358,9–298,9	60
		Dévonien	419,2–358,9	60,3
		Silurien	443,4–419,2	24,2
		Ordovicien	485,4–443,4	42
		Cambrien	541,0–485,4	55,6

18 Types de feu

On distingue les :

- feux de sol (*ground fires*), qui consomment les sols organiques
- feux de surface (*surface fires*), qui consomment uniquement les plantes basses au-dessus du sol

- feux de couronnes (*crown fires*), qui brûlent les arbustes et les arbres jusqu'à leur canopée.

Dans les forêts d'Amérique du Nord, les feux sont des feux de couronne de fréquence séculaires voire pluri-séculaires, de très haute intensité avec un très fort impact sur les arbres et les sols. En Sibérie en revanche, les feux sont des feux de surface de faible intensité, survenant tous les 30-50 ans, auxquels survivent en général les arbres dominants.

19 Sérotinie

Certaines espèces de plantes conservent leurs graines dans une coque ou un cône en bois, éventuellement plusieurs années, et les relâchent après une exposition au feu. Les épicéas sont sérotineux, et leurs basses branches permettent aux feux de passer de feux de surface à feux de couronne.

20 Autres traits favorisant l'inflammabilité des plantes ligneuses

Petites feuilles, ramification dense, rétention des feuilles ou branches mortes pour permettre au feu de s'élever jusqu'à la canopée. Epaisseur de l'écorce. Ces hypothèses ne sont toujours que partiellement acceptées par la communauté scientifique car elle implique qu'il y a une sélection pour ces traits, ce qui est débattu.

21 Andropogonae

Les andropogonae forment une clade de plantes C4 qui sont les plus adaptées pour l'utilisation parcimonieuse de l'eau lors de la photosynthèse. Les membres de cette clade dominent les biomes les plus fréquemment brûlés du monde. Les andropogonae sont les premières à geler dans la zone subtropicale de sorte que leurs feuilles s'assèchent bien avant celles des autres clades.

22 Régimes de feu

Les feux récurrents sont un élément nécessaire mais pas suffisant pour parler de régime de feu. Il faut que les feux aient un rôle tel que leur suppression transformerait l'écosystème ouvert en forêts fermées ou fourrés denses.

23 Expérimentations avec les régimes de feu

La plupart des expérimentations sont des expériences de suppression de feu. Ces suppressions de feux peuvent aussi être l'effet de politique anti-feux, comme par exemple aux USA où des savanes du Sud ont été transformées en forêts de feuillus (types d'angiospermes), ou de fragmentation de l'habitat par des routes ou des implantations. Il y a un changement de biome en cours au Cerrado du fait des politiques de suppression du feu et de la transformation des terres en plantations. Au Gabon, les forêts se répandent sur les zones de savanes dans les aires protégées. Quelques tentatives de réintroduction du feu ont eu lieu. En Afrique du Sud, il y a eu une perte de phorbes intolérantes à l'ombre au profit d'espèces de la forêt sèche.

L'effondrement de l'URSS a entraîné une diminution de la quantité de bétail, notamment de moutons, ce qui a engendré des feux environ 5 fois plus importants à partir de 1995.

Les expériences de "savanisation" sont plus rares.

24 Histoire du feu

Les régimes de feu étaient probablement plus élevés de -350 Ma à -50 Ma que durant la période -50 Ma à aujourd'hui, d'après des études de fossiles. Néanmoins vers -10 Ma il y a eu une recrudescence des feux, qu'on n'attribue pas aux hominidés pour autant.

C'est seulement depuis les années 2000, avec les satellites MODIS ou AVHRR qu'on a une imagerie globale permettant d'avoir une perspective cartographique fine des feux assez fréquents. En revanche pour les feux à fréquence décennale ou séculaire, l'imagerie satellite tend naturellement à les sous-représenter compte-tenu du manque de perspective historique. L'imagerie satellite ne permet pas non plus de détecter le type de feu parmi les feux de sol, les feux de surface et les feux de couronne.

25 Hypothèses abiotique et pyrocentrique

L'hypothèse abiotique est que le feu est simplement une conséquence du climat. La suppression du feu ne cause alors pas de changement majeur dans la composition écologique.

L'hypothèse pyrocentrique est que le feu est un composant majeur à la structuration et à la composition de la végétation. Différents types de feux impliquent différents traits de la végétation. La suppression du feu implique un changement de biome. Cela va à l'encontre de l'hypothèse classique en écologie que la compétition pour les ressources est l'élément central structurant les communautés.

Ces deux hypothèses ne sont pas nécessairement exclusives.

26 Attitude humaine envers le feu et impact en CO2 des feux

L'hostilité européenne aux feux s'est répandue dans les colonies. Après les décolonisations, cette attitude est demeurée dans ces zones. De nombreux écosystèmes ouverts ont souffert de "protection au feu". La classification de la *Food and Agriculture Organisation* (FAO), organisation des nations unies, a fait beaucoup de mal aux écosystèmes ouverts.

Il faut noter que la plupart des émissions de gaz à effet de serre liées aux feux est davantage liée aux feux brûlant les forêts, écosystèmes fermés, en particulier lorsque celles-ci ont été fragilisées par la déforestation, qu'aux feux brûlant les écosystèmes ouverts, bien que ces premiers soient moins importants en terme de surface que les seconds (ils le sont moins en terme de biomasse donc de CO2 produit ?).

27 Occupation spatiale des forêts

Des articles ont montré à partir de 2010, en utilisant l'imagerie MODIS, que les couverts forestiers n'augmentaient pas linéairement selon un gradient de précipitation. La couverture des arbres est bimodale : les deux bassins d'attraction sont les forêts et les savanes. En Afrique, on peut voir trois types, le troisième étant des *sparse wooded grasslands* correspondant d'après Bond au *brown world* de l'herbivorie.

28 Quantification et qualification de l'herbivorie

Les éléments centraux pour quantifier l'herbivorie sont l'abondance des espèces et leur composition, les changements dans les sous-bois.

De même que pour le feu, il y a eu des expérimentations de plusieurs décennies à travers le globe pour quantifier ces changements. Ces expériences sont plus aisées en Eurasie ou en Amérique du Nord qu'en Afrique, où le feu intervient plus régulièrement.

En Ecosse, il pourrait y avoir des conifères et il serait possible que le caractère ouvert de l'écosystème soit maintenu par l'herbivorie (moutons et cervidés). Après la guerre des années 1980 du Mozambique, il y a eu une diminution du nombre d'herbivores et conséquemment une hausse du nombre d'arbres. Impact de l'introduction des loups à Yellowstone dans les années 1990.

Le terme *exclosure*, sans traduction française, désigne des parcelles réservées à faire paître du bétail (donc pâturages ?). Le terme "dégradation" employé par l'organisme américain *World Resources Institute* ne tient pas compte du concept de *brown world*. Les termes connexes sont inadaptes.

29 Impact de l’herbivorie

Les dommages mécaniques aux bourgeons ont plus de conséquences que la perte des feuilles. Les modèles qui postulent que l’impact de l’herbivorie est proportionnel à la perte des feuilles sont faux car ils ne tiennent pas compte de l’impact de l’herbivorie sur les bourgeons.

On note des différences d’impact de l’herbivorie flagrantes selon les pentes, qui peuvent rendre l’accès compliqué à certains mégaherbivores. Même à faible densité, les mégaherbivores peuvent modifier la composition et la densité des arbres.

Les impacts mécaniques de piétinements de branches cassés, ou d’écorce retirés sont importants. Notamment dans le cas où il y a des feux pour l’écorce enlevée, qui peuvent alors atteindre des couches plus profondes. Les dommages mécaniques ne sont pas réservés aux mégaherbivores tels que les éléphants. Les hordes de springboks peuvent piétiner des environnements de buissons pendant leur migration, de même pour les rennes durant leur migration en Arctique.

30 Estimer la présence des herbivores

Il n’est pas aisé d’avoir une couche GIS de la présence des herbivores bien que certains travaux aient utilisé diverses approximations. L’herbivorie ne laisse pas de traces directement mesurables par imagerie satellite au contraire des feux.

Si des évidences de la stabilité du *brown world* ont émergé notamment avec l’étude de fungi, liés à l’herbivorie, la détection et la datation de zones d’herbivorie intenses dans le passé apparaît difficile.

A Lynch Creek, à l’Est de l’Australie, on a un des rares endroits où on peut dire que les mondes verts, marrons et noirs se sont succédés au fil des siècles.

On manque de modèles qui quantifient la transition *green-brown worlds*.

31 Adaptation des plantes contre l’herbivorie

Des épines, des architectures en forme de cage (en Europe ces architectures auraient survécu à l’extinction de la mégafaune). Travaux de Tristan Charle-Dominique. Les réponses des plantes sont complexes et dépendent des espèces et du type de pression.

32 Envisager le futur dans le contexte du changement climatique

Les approches de prédiction future du couvert forestier ne tenant compte que de la température, et ne tenant pas compte du feu ni de l’herbivorie sont condamnées à ne pas être pertinentes.

33 Impact de l’augmentation de C02

Il faudrait aussi considérer la variation de C02 comme élément dans les modèles de diffusion des plantes C3 contre les plantes C4 favorisant les forêts sur les savanes, en plus de l’augmentation des feux.

Les travaux de Polley montrent aussi qu’une augmentation du C02 réduit la conductance des stomates, donc réduit la transpiration des plantes, donc réduit l’utilisation de l’eau par les plantes et augmente l’humidité du sol, donc favorise les arbres aux racines profondes sur les herbacées et favorise le recrutement des arbres.

Sous la faible quantité de C02 caractéristique de la dernière période glaciaire, les savanes étaient de fait assez restreintes, note Bond.

34 Avis politiques de l’auteur

Les feux dans des écosystèmes ouverts ligneux seront probablement plus sévères encore avec le changement climatique. Ces mégafeux ne pourront pas être arrêtés et il vaudrait mieux tenter de s’y

prémunir, comme pour les tremblements de terre, plutôt que de vouloir lutter contre. La plus grande menace avec le changement global pourrait être la pression anthropique pour transformer des zones sauvages en culture.

La politique "Walking for Water" en Afrique du Sud de forestation a eu pour effet d'assécher les rivières et de transformer des écosystèmes ouverts. La législation est revenue sur cette politique qui s'est avérée néfaste.

De même les programmes de séquestration de carbone par la plantation d'arbres dans des zones d'écosystèmes ouverts pourraient se révéler dommageables pour la diversité écologique en détruisant les écosystèmes ouverts. La séquestration du carbone n'est de plus pas assurée par ces programmes de plantation dans nos connaissances écologiques actuelles.