

LA NEUTRALITÉ CARBONE DU BOIS ÉNERGIE : UN CONCEPT TROMPEUR ?

PHILIPPE LETURCQ

Dans tous les pays disposant d'une ressource forestière, les politiques publiques de l'énergie mettent l'accent sur le développement de l'utilisation du bois massif ou fragmenté comme combustible pour le chauffage industriel et le chauffage urbain collectif, aussi bien que pour le chauffage individuel, et même pour la production d'électricité (cogénération) ; dans un avenir proche (dès 2015), le bois devrait aussi servir à l'élaboration de biocarburants (filière BtL – *Biomass to Liquid*).

Les raisons de cet engouement pour le bois énergie sont diverses. Le coût croissant des combustibles fossiles est probablement, dans les pays qui n'en sont pas producteurs, l'une des principales. Mais aussi, la ressource ligneuse est considérée comme renouvelable et l'impact de son usage énergétique comme neutre vis-à-vis de l'effet de serre, ces deux arguments étant généralement admis comme vérités établies. Aussi en déduit-on un peu hâtivement que la substitution du bois aux combustibles fossiles évite l'émission dans l'atmosphère de dioxyde de carbone (CO₂), ce qui, devant la menace d'un changement climatique d'origine anthropique, conférerait à cette substitution un caractère vertueux.

Or la « neutralité carbone » du bois est un concept fragile qui présuppose la permanence du stock de carbone dans les écosystèmes forestiers et dans les produits « bois » qu'on en extrait ; en effet, toute variation de ce stock s'accompagne nécessairement d'un flux de CO₂ émis (stock décroissant) ou capté (stock croissant), en contradiction avec l'assertion de neutralité. Cette condition de permanence ne peut être remplie que si les forêts sont gérées à volume sur pied maintenu constant et si la destinée du bois produit est fatalement l'oxydation par combustion ou par décomposition, le carbone absorbé par la croissance ligneuse étant dans les deux cas rendu à l'atmosphère. On occulte ainsi, contre toute évidence, la possibilité, au moins transitoire, de faire jouer à la forêt le rôle de puits de carbone et de conserver le bois qui en est issu. L'intérêt environnemental de la substitution du bois aux combustibles fossiles (émission de CO₂ « évitée ») est ainsi remis en question.

Cet article réévalue l'impact du bois énergie en prenant en considération le caractère dynamique des échanges de carbone entre les écosystèmes forestiers et l'atmosphère, l'horizon de temps limité par les échéances climatiques, et la possibilité d'accumuler et de conserver le bois de manière suffisamment durable. Par « suffisamment durable », il convient d'entendre le laps de temps prévu, de l'ordre du demi-siècle, pour réduire les émissions carbonées liées aux activités humaines.

LA PROBLÉMATIQUE DES ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE DANS L'ATMOSPHÈRE

Le bilan carbone de la planète

La concentration de CO₂ dans l'atmosphère, sous hypothèse d'équilibre des échanges gazeux avec la surface terrestre (terres émergées, océans), serait constante. C'est par rapport à une telle situation, supposée être celle de l'époque préindustrielle (référence par convention à l'année 1750), que l'on évalue les perturbations liées aux activités humaines. Le bilan carbone de la planète présenté dans le tableau I (ci-dessous) ne fait ainsi apparaître que les flux annuels d'émission d'origine anthropique (comptés positifs par convention) et ceux de capture, par les puits terrestre et océanique, du carbone en excès dans l'atmosphère (comptés négativement). Dans ce qui suit, la distinction entre le carbone (C) et le dioxyde de carbone (CO₂) est implicite, avec la correspondance de masse : 12 grammes de C ≈ 44 grammes de CO₂.

Selon les estimations du Global Carbon Project (2010), la concentration de CO₂ dans l'atmosphère était, à la fin de l'année 2009, de 387 parties par million (ppm), à comparer aux 280 ppm de l'époque préindustrielle, ce qui correspond à une masse de carbone de 822 gigatonnes (Gt). L'accumulation de carbone dans l'atmosphère se poursuit au rythme d'environ 4,1 Gt par an, soit une augmentation annuelle de concentration de CO₂ de 1,9 ppm (+ 0,5 %). Cette augmentation serait plus importante encore si ne jouaient des puits de carbone, terrestre (capture par l'activité photosynthétique de la végétation et stockage, notamment dans les écosystèmes forestiers) et océanique (dissolution du CO₂ dans les eaux superficielles et assimilation par le phytoplancton). Pour la période 2000-2009, une moyenne de 4,7 gigatonnes de carbone (Gt C) a été ainsi retranchée annuellement des émissions anthropiques qui, en cumulant l'usage des combustibles et carburants d'origine fossile, la calcination des roches calcaires pour la fabrication de chaux et ciments et l'évasion de carbone liée à la déforestation et autres changements d'affectation des sols, se sont élevées, toujours en moyenne, à 8,8 Gt C par an. Les chiffres d'émission et de capture sont affectés de marges d'incertitude importantes mais le bilan même (4,1 Gt C par an) est connu avec précision par mesures directes dans l'atmosphère, ce qui permet d'estimer le puits terrestre, *a priori* difficile à quantifier, par balance avec les autres termes.

TABLEAU I **Bilan carbone de la planète : moyennes 2000-2009 des flux annuels nets selon le Global Carbon Project (2010)**
(Les deux dernières lignes sont des ajouts d'après des données de la FAO)

	Capture (Gt C par an)	Émission (Gt C par an)
Combustibles et carburants d'origine fossile		7,5 ± 0,5
Calcination de roches calcaires (fabrication de chaux et ciments)		≈ 0,2
Puits océanique	- 2,3 ± 0,5	
Déforestation et autres changements d'affectation des sols		1,1 ± 0,7
Puits terrestre	- 2,4 ± 1	
Bilan carbone global		4,1 ± 0,15
Prélèvements de bois dans les forêts de production	≈ - 1	
Combustion ou dégradation des bois exploités		≈ 1

La place dans le « bilan carbone » des utilisations du bois

La capture et l'émission de carbone liées aux utilisations du bois ne sont pas individualisées dans le bilan du Global Carbon Project. Pourtant, d'après la FAO, de l'ordre de 3,5 milliards de mètres cubes de bois ont été prélevés annuellement dans les forêts au cours de la décennie passée, dont environ la moitié pour des usages énergétiques immédiats. Ces usages énergétiques renvoient directement dans l'atmosphère le carbone puisé dans l'atmosphère par la croissance ligneuse, mais il faut aussi compter les émissions liées à la combustion des déchets de l'industrie du bois et à la biodégradation des produits bois en fin de vie. Aussi, dans l'hypothèse, restrictive mais conforme aux recommandations de l'IPCC (1996), où les produits bois annuellement fabriqués ne feraient que remplacer ceux parvenant au terme de leur usage, l'évaluation de l'émission globale doit se faire sur la base de ces 3,5 milliards de mètres cubes annuellement prélevés, soit environ 3,5 milliards de tonnes de CO₂ ou 1 milliard de tonnes de C par an (l'équivalence statistique d'une tonne de CO₂ par mètre cube de bois est communément admise). Ce dernier chiffre est comparable à celui de l'émission liée à la déforestation. Cependant, si les prélèvements de bois étaient effectués dans des forêts gérées de manière durable, à volume sur pied maintenu globalement constant (hypothèse restrictive également), il y aurait compensation par la capture du carbone atmosphérique nécessaire à la reconstitution des peuplements exploités. Dans ces conditions, les usages du bois n'auraient effectivement pas d'impact sur l'effet de serre. Même si de tels équilibres ne sont réalisables que dans des situations particulières, prétexte est généralement pris de cette compensation supposée pour exclure le poste « bois » des bilans environnementaux. C'est le cas pour le tableau I (p. 724), auquel on a donc rajouté, sans prétendre à l'exactitude, les flux capté et émis correspondant aux usages des bois, tous deux de l'ordre de 1 Gt C par an. L'émission anthropique de carbone et sa capture par le puits terrestre doivent ainsi être réévaluées à la hausse, le bilan restant inchangé.

Perspectives de modération de l'accumulation de dioxyde de carbone dans l'atmosphère

Le tableau I montre que pour stopper l'accumulation de carbone (CO₂) dans l'atmosphère, une division par deux des émissions anthropiques actuelles pourrait suffire, sous réserve que l'efficacité des puits terrestre et océanique se maintienne. Tel est l'objectif des Nations unies pour 2050, le souci d'équilibrer les efforts entre pays développés et pays en voie de développement impliquant pour les premiers un facteur de réduction plus important (facteur 4 à 5 pour l'Union européenne). Si cet objectif venait à être atteint, les écosystèmes terrestres, principalement les écosystèmes forestiers, qu'il est plus facile de contrôler que le puits océanique, deviendraient le premier facteur de régulation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère.

Le tableau I suggère ainsi que, si la modération de l'effet de serre nécessite une stricte économie de combustibles fossiles, le renforcement du puits de carbone terrestre doit être envisagé comme complément ou comme alternative. Ce renforcement passe logiquement par l'arrêt de la déforestation, l'augmentation des volumes ligneux dans les forêts existantes et dans les produits bois durables, ainsi que le rétablissement des forêts, landes, prairies et tourbières sur les espaces qui ne sont pas indispensables aux activités humaines.

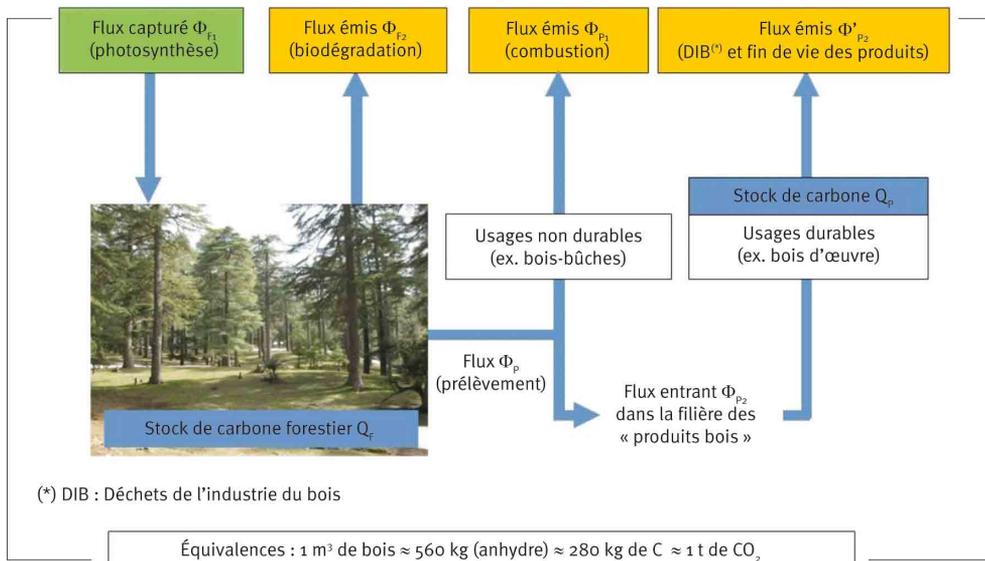
LE RÔLE DE PUIITS DE CARBONE DES FORÊTS

La figure 1 (p. 726) représente les flux de carbone échangés entre l'atmosphère d'une part, la forêt et les filières d'utilisation du bois qui lui sont couplées d'autre part. Le périmètre considéré est quelconque : il peut s'agir d'un massif forestier particulier, pourvu qu'il soit constitué de

peuplements suffisamment diversifiés en essences et en âges, de plusieurs massifs, de la forêt française toute entière ou de l'ensemble des forêts du monde.

FIGURE 1

**STOCKS ET FLUX DE CARBONE
DANS LA FORÊT ET LES FILIÈRES D'UTILISATION DU BOIS**



Le flux de carbone (ou de CO₂) ϕ_{F1} capturé dans l'atmosphère est celui par lequel se constitue la biomasse forestière, notamment ligneuse (photosynthèse). La biomasse dépérissante est dégradée par des agents biotiques et le carbone qu'elle contient est renvoyé à l'atmosphère sous forme de CO₂ ; le flux correspondant ϕ_{F2} (émis) est fonction croissante du stock de carbone forestier Q_F , ce qui conduit en théorie pour les forêts naturelles, en dehors de toute intervention humaine, à une situation d'équilibre entre production biologique et mortalité. Aux prélèvements en forêt correspond la somme $\phi_p = \phi_{P1} + \phi_{P2}$ du flux emporté par le bois à usage quasi immédiat de combustible (ϕ_{P1}) et de celui entrant dans la filière des produits bois plus durables, d'œuvre et d'industrie (ϕ_{P2}). Les déchets de l'industrie du bois (DIB) et les produits bois en fin de vie, s'ils ne peuvent être recyclés, finissent par se décomposer ou sont brûlés pour fournir de l'énergie ; dans les deux cas, ils rendent leur carbone à l'atmosphère sous forme de CO₂ (flux ϕ'_{P2}).

Sans qu'il soit nécessaire d'entrer dans l'étude détaillée des deux systèmes couplés [forêt et filières d'utilisation du bois], mais étant entendu que les variations de stocks par unité de temps (l'année en matière forestière) correspondent à la somme algébrique des flux (annuels) dont ces stocks dépendent, de simples considérations de conservation de masse (de bois, de carbone, ou de CO₂ – cf. les équivalences sur la figure 1) permettent de se convaincre de ce que toute variation de prélèvement (ϕ_p) implique une variation contraire du taux de stockage forestier. Notamment, une augmentation du flux ϕ_{P1} de carbone rendu à l'atmosphère par l'usage du bois comme combustible se retranche directement, dans le bilan net, du flux de carbone capté par l'écosystème forestier. Il en est de même pour une augmentation du flux ϕ_{P2} , mais avec compensation partielle possible, cette fois, par stockage dans les produits bois « durables » (Q_p).

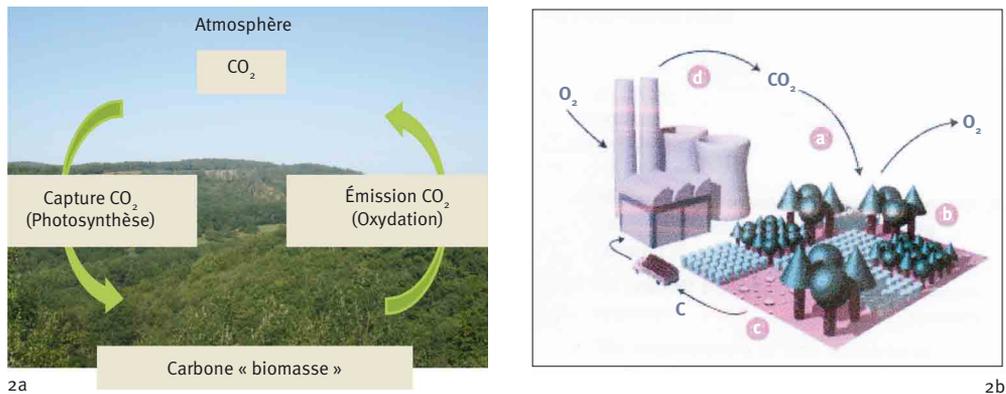
Les rôles de source d'énergie combustible et de puits de carbone qu'on souhaite voir jouer à la forêt et à ses produits bois sont donc antinomiques.

LA FRAGILITÉ DU CONCEPT DE NEUTRALITÉ CARBONE DU BOIS

Le concept rassurant de « neutralité carbone de la biomasse » auquel on fait souvent référence pour justifier les usages énergétiques du bois repose sur l'hypothèse d'un cycle équilibré dans lequel, pour l'écosystème considéré, la masse de carbone atmosphérique capturée par l'activité photosynthétique de la végétation, correspondrait globalement, année après année, à celle qui est émise par la combustion, la décomposition et plus généralement l'oxydation de la matière organique produite (figure 2a). On présuppose donc l'invariabilité du stock de carbone biomasse.

Or, en ce qui concerne le bois, le cycle de vie est long, de plusieurs années à plusieurs siècles. Les stocks de carbone forestier sont importants (il y a environ autant de carbone dans les écosystèmes forestiers que dans l'atmosphère) et l'équilibre entre la production biologique du bois, d'une part, sa combustion ou sa dégradation, d'autre part, n'est généralement pas réalisé, quelles que soient l'étendue géographique et la période de temps sur lesquelles on fait le bilan. Si la production biologique l'emporte, l'ensemble forestier considéré se comporte en puits vis-à-vis de l'atmosphère, ce qui est évidemment bénéfique. Dans le cas contraire, le stock de carbone forestier diminue, et c'est à une source de carbone qu'on a affaire, qui aggrave l'effet de serre. On ne peut donc affirmer la neutralité carbone des usages énergétiques du bois extrait de la forêt que pour des massifs producteurs gérés de manière très stricte, à stock sur pied maintenu constant : la neutralité carbone n'est pas une propriété intrinsèque du bois, mais le résultat d'une gestion de production particulière. La figure 2b en donne un exemple : une forêt, captive d'une unité de cogénération, est gérée de manière à produire chaque année la même quantité de bois, en renouvellement continu, bois qui est immédiatement brûlé (IEA Bioenergy Task 38, 2005).

FIGURE 2 ILLUSTRATIONS DE LA NEUTRALITÉ CARBONE DE LA BIOMASSE



La figure 2b est extraite du document (IEA Bioenergy Task 38, 2005), avec autorisation.

Deux idées fausses viennent abusivement ancrer comme dogme ce concept de neutralité.

La première est ce « credo » mal fondé, répercuté, à quelques variantes près, dans nombre de documents émanant d'agences et services d'État, d'organisations professionnelles, d'associations militantes, de cabinets de consultants, dont l'énoncé type est le suivant :

Le bois que l'on brûle ne fait que rendre à l'atmosphère le carbone qui lui a été emprunté pour la photosynthèse de la matière ligneuse ; les usages énergétiques du bois (comme ceux de la biomasse en général) sont donc neutres vis-à-vis de l'effet de serre.

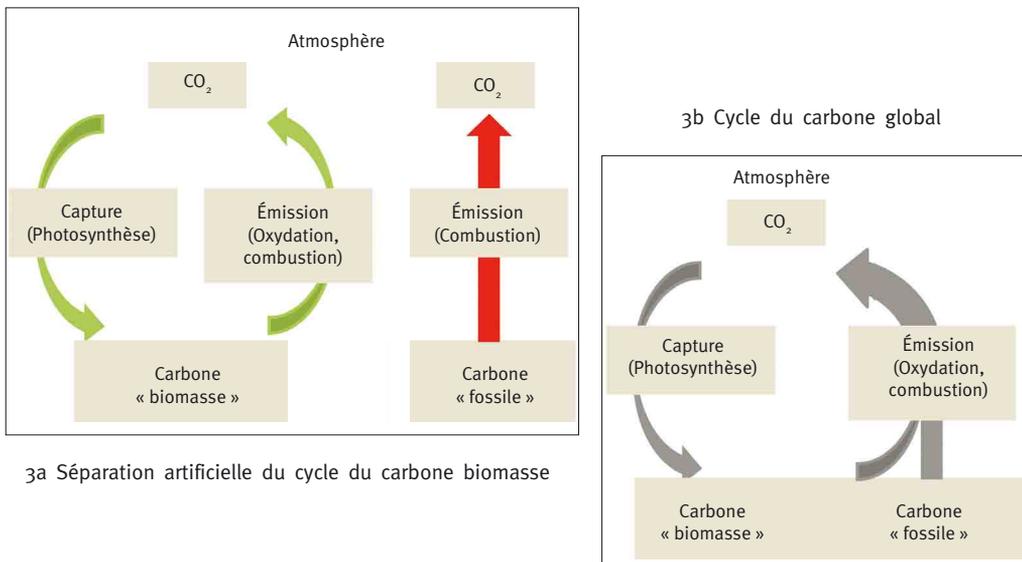
Or, on ne fait là qu'affirmer, ce dont personne ne doute, que le contenant (la bûche) ne peut que libérer le carbone qu'il contient. Cela ne renseigne en rien sur le bilan carbone des échanges entre l'atmosphère et le puits terrestre : comme cela est montré dans le paragraphe "Rôle de puits de carbone des forêts" (p. 725) et rappelé dans ce qui précède, c'est la variation du stock de matière ligneuse qui importe.

La deuxième idée fautive est souvent exprimée de la manière suivante :

On ne peut comparer un atome de carbone issu d'un stock épuisable avec un atome de carbone issu d'un stock renouvelable.

Comme le montre l'exemple de la figure 3a, on oppose ainsi trop facilement le cycle vertueux du carbone biomasse à l'émission du carbone fossile qui serait, elle, irréversible. Or, la photosynthèse de biomasse ne se soucie pas de la provenance de telle ou telle molécule de CO₂. C'est donc le schéma de la figure 3b qui s'applique, mettant sur un pied d'égalité tous les combustibles carbonés, bois, charbon, pétrole ou gaz.

FIGURE 3 DEUX VISIONS DU CYCLE DU CARBONE TERRESTRE



La neutralité carbone érigée en principe est pourtant, malgré la fragilité du concept, la clé des politiques énergétiques développées dans le monde entier avec la biomasse comme support, sans qu'il soit pris garde, notamment dans le cas du bois, aux conditions étroites de validité. Des règles de comptabilité carbone édictées dans le cadre de traités internationaux (protocole de Kyoto) ou spécifiées dans des textes législatifs ou réglementaires encouragent étrangement des abus qui représentent une menace pour la biosphère. Par exemple, l'annexe IV de la directive européenne 2003/87/EC établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre précise : « *Le facteur d'émission pour la biomasse est égal à zéro* » ! Cependant, à la suite de la publication récente de travaux développant indépendamment des arguments proches de ceux exposés ici (Walker *et al.*, 2010), le débat sur l'intérêt des usages énergétiques de la biomasse est rouvert, notamment aux États-Unis. Il est dommage que les milieux forestiers français n'y participent pas.

LE BOIS EST UN MAUVAIS COMBUSTIBLE

Comme le montre le tableau II, le bois est le plus mauvais des combustibles usuels : pouvoir calorifique (PCI) le plus faible, quantité de gaz à effet de serre émise, par unité d'énergie rendue, la plus élevée. On ne tient compte ici que des caractéristiques intrinsèques, abstraction étant faite de l'énergie et des émissions liées à l'exploitation, au transport, à la transformation, au conditionnement et à la distribution des divers combustibles. Les chiffres indiqués se trouveraient tous modifiés par ces données extrinsèques dans une fourchette assez large de 10 à 20 %, mais sans bouleversement du classement que l'on peut opérer par comparaison des valeurs indiquées.

TABLEAU II **Pouvoir calorifique inférieur et facteur d'émission des principaux combustibles**
Valeurs types (Concawe/Eucar/JRC, 2007 ; IPCC, 2006)

Combustible	PCI (MJ/kg)	CO ₂ (kg/kg)	Facteur d'émission (gCO ₂ /MJ) ou tCO ₂ /tep)	
Bois (anhydre)	18	1,83	101,9	4,25
Charbon	29,4	2,83	96,3	4
Fioul	43,1	3,16	73,2	3,05
Gaz naturel	45,1	2,54	56,4	2,35

Le facteur d'émission est défini comme la masse de CO₂ émise par unité de chaleur dégagée.
MJ : mégajoule ; tep : tonne-équivalent-pétrole ; 1 tep ≈ 41,8 GJ

BOIS ÉNERGIE CONTRE BOIS MATÉRIAU

La question de l'épuisement des combustibles fossiles

L'exploitation à des fins énergétiques de ressources ligneuses (de la biomasse plus généralement) est actuellement donnée comme l'une des réponses à la question de l'épuisement des combustibles fossiles, présentée comme prégnante.

La réponse et la question sont également contestables :

— Pour limiter l'accroissement de l'effet de serre, la combustion de toute matière carbonée, fossile ou renouvelable, devrait être évitée autant que possible (*cf.* paragraphe "La problématique des émissions...", p. 724). L'humanité peut disposer en remplacement de sources d'énergie abondantes dont l'utilisation n'implique d'émission de CO₂ que de manière marginale : énergie hydraulique, nucléaire, éolienne, etc.

— La crainte d'un épuisement des ressources en combustibles fossiles est peu fondée. Dans une perspective de réduction des consommations, les réserves vont durer plus longtemps que ce qui était prévu. Mais surtout, borner à 2 °C l'élévation de température de la surface terrestre pour éviter l'emballement de la machinerie climatique, impose, selon Meinshausen *et al.* (2009), de limiter le total des émissions à environ 270 Gt C entre 2000 et 2050 (déjà 74 Gt C émises entre 2000 et 2008), ou encore — formulation équivalente pour le long terme (Allen *et al.*, 2009) — à 1 000 Gt C entre 1750 et 2500 (déjà 500 Gt C émises jusqu'à maintenant). Or l'utilisation des réserves fossiles prouvées (estimation d'environ 600 Gt C, d'après les données courantes) conduirait à dépasser ces limites, et celle des réserves probables (plus de 4 000 Gt C) à les excéder largement. Il n'est donc maintenant possible de consommer, sans mettre en danger la planète, qu'une part des réserves de combustibles fossiles.

La conclusion s'impose : la recherche de substituts aux combustibles fossiles ne se justifie que s'ils émettent moins de CO₂ par unité d'énergie dégagée. Ce n'est pas le cas pour le bois (cf. tableau II, p. 729).

Le bois durable

Par contre, l'utilisation du bois comme matériau permet non seulement un stockage direct du carbone puisé dans l'atmosphère, mais aussi, par substitution à d'autres matières ou matériaux dont l'élaboration exige plus d'énergie et génère davantage de gaz à effet de serre pour un usage identique, une économie indirecte en évitant des émissions. L'augmentation du stock des produits en bois participe ainsi positivement et doublement au bilan carbone global.

Un certain nombre de conditions doivent toutefois être remplies :

— L'émission de gaz à effet de serre et l'énergie que nécessite l'élaboration de produits bois, déductions faites du carbone séquestré et de l'énergie conservée dans la matière ligneuse, ne doivent pas dépasser celles qu'exige la fabrication des produits substitués.

— Les objets en bois finissent toujours, dit-on, par se dégrader ou se décomposer et rendent, en fin de vie, qu'on les brûle ou non, leur carbone à l'atmosphère. Cet argument qui tend à relativiser l'intérêt du bois matériau vis-à-vis de celui du bois énergie s'appuie sur la courte durée de vie actuelle de la plupart des produits bois (de 6 mois à 2 ans pour les papiers et cartons, entre 10 et 25 ans pour les panneaux de particules, des décennies pour l'ameublement, de 30 à 50 ans et plus pour le bois utilisé dans la construction). C'est ignorer que, pour chaque catégorie d'objets, le stock permanent est proportionnel au flux de produits et à la durée de vie de ceux-ci ; le développement des usages de substitution et l'allongement de la durée d'utilisation des produits sont donc également bénéfiques. Et il n'y a pas de vraie raison de limitation de ce second facteur, à l'échelle de temps humaine, autre que les habitudes de consommation : sauf accident (bris) ou usure, les produits bois placés à l'abri de l'humidité et des attaques d'insectes défient le temps. Pour s'en convaincre, il suffit de songer aux siècles d'âge des charpentes et des menuiseries de nos vieux bâtiments et à l'usage que font, durant des générations, les meubles en bois massif.

Les échéances climatiques liées à l'augmentation de l'effet de serre se présentant au cours de ce siècle, la durabilité naturelle des produits bois est suffisante pour que ceux-ci puissent pleinement jouer un rôle modérateur par séquestration du carbone.

Les sous-produits de sylviculture, d'exploitation et d'industrie

Si rien n'empêche, par une bonne gestion de la forêt, de privilégier la production de bois d'œuvre ou, à défaut, d'industrie, se pose cependant la question de l'emploi des bois d'éclaircies, des rémanents d'exploitation et des déchets de l'industrie du bois. L'utilisation énergétique de ces sous-produits est une solution de facilité, d'autant mieux adoptée qu'une opinion répandue veut que ceux-ci rendraient de toute manière, en se dégradant, leur carbone à l'atmosphère. D'autres options sont pourtant possibles : la composition et les caractéristiques physiques de ces bois, propriétés mécaniques mises à part, sont les mêmes que celle des bois de qualité et rien ne leur interdit des applications diverses et durables : panneaux, matériaux d'isolation thermique ou phonique, matières premières pour la chimie, etc. On peut aussi envisager la solution de l'enfouissement des bois jugés impropres à tout usage durable (Zeng, 2008) : les bois mis en terre, après une phase de libération de méthane récupérable de la même manière que le biogaz d'origine agricole, conservent pendant des siècles une grande proportion de leur masse initiale de carbone.

LA SUBSTITUTION DU BOIS À DES COMBUSTIBLES FOSSILES NE PERMET PAS UNE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS

Dans la mesure où le bois peut être longtemps⁽¹⁾ conservé en forêt sur pied ou hors forêt comme matériau, sa formation par photosynthèse contribue directement à la capture du carbone atmosphérique dans une proportion qui est, en moyenne, $1 \text{ m}^3 \approx 1 \text{ t CO}_2 \approx 0,27 \text{ t C}$. Prélever du bois en forêt pour des usages énergétiques immédiats réduit le flux de carbone capturé — $0,27 \text{ t C}$ par mètre cube de bois consommé — et modifie le volume global d'émission selon les options de substitution choisies vis-à-vis d'autres combustibles. L'impact sur l'émission est la différence, qui, *a priori*, peut être positive ou négative, entre les émissions liées, pour une même énergie produite, à la combustion du bois d'une part, à celle du combustible ou du carburant substitué d'autre part.

Le tableau II (p. 729) montre que, quel que soit le combustible substitué, les usages énergétiques du bois pèsent défavorablement dans le bilan carbone global : par unité d'énergie thermique produite, si l'émission de CO_2 par combustion du bois est sensiblement la même que celle du charbon, elle est supérieure de 35 % et 80 % respectivement à celle du fioul et du gaz naturel. La prise en compte des énergies dépensées, et émissions associées, que nécessitent l'exploitation, le transport, la transformation et la distribution des différents combustibles peuvent nuancer ce chiffrage sans remettre en cause le classement.

C'est donc en réalité la substitution au bois énergie de combustibles fossiles qui permet une réduction des émissions.

UN EXEMPLE PROBANT

La figure 2b (p. 727) est illustrative de la neutralité carbone du bois énergie. Comment se trouverait modifié le bilan carbone si la gestion de la forêt, ici captive d'une unité de cogénération, était réorientée vers la production de bois d'œuvre ? Certes, il faudrait compter avec des pertes d'exploitation et des déchets de l'industrie du bois, pertes et déchets qui restent utilisables comme combustible dans la centrale. Supposons que 50 % en masse de la production forestière soient ainsi directement brûlés, les autres 50 % étant réservés à des emplois nobles et durables, stockant du carbone pour de longues années. Alimentons la centrale par du pétrole ou du gaz pour les 50 % d'énergie qui lui sont ainsi soustraits et faisons, pour chaque cas, le bilan d'émission de CO_2 , c'est-à-dire la différence entre la masse de dioxyde de carbone capturée par la croissance ligneuse en forêt et celle qu'émet la centrale dans son fonctionnement. Les résultats figurent dans le tableau III (ci-dessous) sous forme littérale en fonction de l'énergie W annuelle-

TABLEAU III
Bilans de la capture et de l'émission de CO_2
pour divers cas de substitution de combustibles fossiles au bois

Combustible	Capture	Émission	Bilan (capture-émission)	Émission évitée (en pourcentage)
Bois	$F_b W$	$F_b W$	0	0
50 % Bois 50 % Fioul . .	$F_b W$	$(F_f + F_b)W / 2$	$(F_b - F_f)W / 2$	14 %
50 % Bois 50 % Gaz . . .	$F_b W$	$(F_g + F_b)W / 2$	$(F_b - F_g)W / 2$	22,3 %

W représente l'énergie requise ; F_b , F_f , F_g , désignent les facteurs d'émission du bois, du fioul et du gaz respectivement.

(1) Par « longtemps » on entend au moins le temps que va nécessairement prendre la réduction globale des émissions anthropiques de dioxyde de carbone pour garantir une stabilisation future du climat, soit de l'ordre de 40 à 100 ans.

ment consommée par la centrale, F_b , F_f , F_g représentant les facteurs d'émission du bois, du fioul et du gaz respectivement, avec les valeurs indiquées dans le tableau II (p. 729).

La dernière colonne du tableau indique numériquement l'émission évitée en pourcentage de l'émission de CO_2 de la centrale (ou de la capture de CO_2 par la forêt) : 14 % dans le cas d'une utilisation du fioul à 50 % des besoins, plus de 22 % dans le cas de l'utilisation du gaz. Encore faudrait-il tenir compte des émissions évitées, selon le cas, par la substitution même du matériau bois ainsi préservé aux autres matériaux en usage (comme l'acier par exemple).

Le concept de neutralité carbone de la biomasse, même dans les cas où il peut être justifié, est donc trompeur en ce qu'il occulte, dans les choix de substitution, la possibilité de conserver durablement les bois.

CONCLUSIONS

Il n'est pas dans l'intention de l'auteur de contester l'usage raisonné du bois de feu, notamment en milieu rural, ni d'inciter quiconque à se priver de flambées festives, non plus que de recommander de laisser vieillir les forêts en l'état. Mais il convient de prévenir les abus et les dérives d'une promotion irréflectée du bois énergie qui affecteraient les rôles fondamentaux (économique, environnemental, social...) de la forêt et surtout qui seraient contre-productifs au plan de la limitation de l'effet de serre. Tout est question de bon sens et de mesure...

Mieux vaudrait donc pour la planète limiter l'emploi du bois énergie que le développer :

- La principale menace est un changement climatique global, déjà entamé, dont la cause première est l'émission en excès dans l'atmosphère, du fait de l'activité humaine, de gaz à effet de serre, au premier rang desquels le dioxyde de carbone.

- La forêt, et les produits bois durables qu'on en extrait, retiennent du carbone. Pour l'ensemble de la planète, la masse de carbone forestier est de l'ordre de 650 gigatonnes, auxquelles on doit rajouter, pour une dizaine de gigatonnes seulement dans la situation actuelle, la masse de carbone des produits bois en usage ou placés en décharge. Le total est comparable à la masse de carbone contenue dans l'atmosphère terrestre (822 gigatonnes). Or, une diminution du stock de carbone dans la forêt et dans les produits bois s'accompagne nécessairement de l'émission de CO_2 dans l'atmosphère : on mesure ainsi la gravité de toute atteinte au tissu forestier, qu'elle soit d'origine anthropique directe (déforestation, exploitation du bois à des fins énergétiques) ou résultat du changement climatique même (dépérissement des forêts). Au contraire, favoriser l'augmentation de la masse de carbone forestier (à travers l'extension des surfaces des forêts et l'augmentation des volumes sur pied par unité de surface) ou de celle contenue dans les produits bois (en ayant davantage recours au bois matériau et en privilégiant, par la qualité des produits, un allongement de leur durée d'utilisation) permet une compensation partielle des émissions anthropiques. La forêt s'offre ainsi comme un moyen crédible de géo-ingénierie pour atténuer l'effet de serre. Utiliser, pour des besoins énergétiques, du bois qui pourrait avoir d'autres usages, usages durables s'entend, paraît bien être, dans ces conditions, du gaspillage.

- Le concept de neutralité carbone, sur lequel s'appuient les promoteurs des utilisations énergétiques du bois (et de la biomasse en général), est trompeur. Sachant que tout gramme de CO_2 émis en quelque endroit que ce soit de la planète, quelle qu'en soit la source, a le même effet sur le climat, la disparition en fumée d'un mètre cube de bois qui pourrait être durablement conservé, que celui-ci soit tiré de la forêt amazonienne ou d'une hêtraie ariégeoise, produit la même émission directe que la combustion de 325 kilogrammes de fioul ou de 405 kg de gaz naturel, pour une énergie délivrée bien moindre (cf. tableau de valeurs II). On réfute ainsi l'argument selon lequel la substitution du bois à des combustibles fossiles permettrait, pour la

même énergie fournie, une réduction d'émission de dioxyde de carbone. Dans la mesure où le bois peut être longtemps conservé, c'est la proposition inverse qui est correcte : le bois est à l'égal du charbon, un mauvais combustible auquel le fioul et le gaz doivent être préférés pour les cas où la chaleur carbonée est indispensable.

— On rejoint donc, en ce qui concerne le bois énergie, une opinion déjà exprimée à propos des biocarburants, notamment par Renton Righelato et Dominick V. Spracklen (2007) : « *les décideurs politiques seraient mieux avisés, à court terme (horizon à trente ans), de focaliser leur réflexion sur l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des carburants fossiles, de conserver forêts, landes et prairies existantes, et de les restaurer sur les terres qui ne sont pas indispensables pour l'alimentation* ».

Philippe LETURCQ
 Professeur des Universités (retraité)
 Ancien chercheur du
 Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS
 73 allée de Nanbours
 F-31650 AUZIELLE
 (phleturcq@hotmail.com)

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN (M.R.), FRAME (D.J.), HUNTINGFORD (C.), JONES (C.D.), LOWE (J.A.), MEINSHAUSEN (M.), MEINSHAUSEN (N.). — Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. — *Nature*, 458, 30 avril 2009, pp. 1163-1166.
- CONCAWE/EUCAR/JRC. — Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context; well-to-tank report, version 2c, March 2007. — WTT Appendix 1, page 11, standard properties of fuels.
- GLOBAL CARBON PROJECT. — Global carbon budget 2009. — last updated : Nov 21 2010. [On line : <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget>].
- IEA BIOENERGY TASK38. — Answers to ten frequently asked questions about bioenergy, carbon sinks and their role in global climate change. — Second edition compiled and edited by Robert Matthews and Kimberley Robertson. — 2005.
- IPCC. — 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2 : energy, chapter 2 : stationary combustion, pages 2.22 et 2.23.
- IPCC. — Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference manual. Chapter 5 Land-Use Change & Forestry, page 5.17, Box 5 « The Fate of Harvested Wood ».
- MEINSHAUSEN (M.), MEINSHAUSEN (N.), HARE (W.), RAPER (S.C.B.), FRIELER (K.), KNUTTI (R.), FRAME (D.J.), ALLEN (M.R.). — Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 °C. — *Nature*, 458, 30 avril 2009, pp. 1158-1162.
- RIGHELATO (R.), SPRACKLEN (D.V.). — Carbon Mitigation by Biofuels or by Saving and Restoring Forests ? — *Science*, vol. 317, 17 août 2007.
- WALKER (T.), CARDELLICCHIO (P.), COLNES (A.), GUNN (J.), KITTLER (B.), PERSCHEL (B.), RECCHIA (C.), SAAH (D.). — Biomass Sustainability and Carbon Policy Study. — Manomet Center for Conservation Sciences, June 2010 (NCl-2010-03).
- ZENG (N.). — Carbon sequestration via wood burial. — *Carbon Balance and Management*, 3, 1, January 2008.

LA NEUTRALITÉ CARBONE DU BOIS ÉNERGIE : UN CONCEPT TROMPEUR ? [Résumé]

L'utilisation du bois comme combustible, pratique ancestrale, ne paraît pas poser question à échelle industrielle, tant est profonde la conviction de la neutralité carbone de la biomasse vis-à-vis de l'effet de serre. Cependant, le rôle de source d'énergie combustible et celui de puits de carbone qu'on souhaite voir jouer aux forêts et à leurs produits bois sont antinomiques : le bois, s'il peut être longtemps conservé avant dégradation, ne peut retenir le carbone qu'il a emprunté à l'atmosphère que si on ne le brûle pas. Et sa substitution aux combustibles fossiles ne permet pas de réduire les émissions de dioxyde de carbone, car son facteur d'émission (masse de CO₂ émise par unité de chaleur dégagée) est plus élevé. On montre ainsi que le concept de « neutralité carbone » est trompeur en ce qu'il occulte, dans les choix de substitution, la possibilité de conserver les bois un temps suffisant pour faire face aux échéances climatiques.

THE CARBON NEUTRALITY OF FOREST BIOMASS FOR ENERGY - A MISLEADING CONCEPT? [Abstract]

Using wood as fuel — a time-honoured practice — does not appear to raise any issues when implemented on an industrial scale, due to the deep-anchored conviction that forest biomass is carbon neutral in terms of the greenhouse effect. However the role of forests and their timber products as a source of fuel energy and as a carbon sink is contradictory: while timber can be kept for a long time without being degraded, it cannot retain the carbon it borrowed from the atmosphere if it is burned. Using it instead of fossil fuels does not reduce carbon dioxide emissions because its emissions factor (CO₂ by weight emitted per unit of heat produced) is higher. This shows that the concept of “carbon neutrality” is misleading because it fails to consider, among alternative choices, the possibility of keeping the wood for a prolonged period so as to meet climate change criteria.
