EMPREINTE CARBONE DE LA FORÊT
ET DE L'UTILISATION DE SON BOIS
(digest)

Philippe Leturcq

Professeur des Universités (retraité)
Ancien chercheur du
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS

mél : phleturcq@hotmail.fr

26 janvier 2020

Devant la menace climatique, presque toutes les activités humaines font l'objet d'évaluations des émissions de gaz à effet de serre qui leur sont liées. Jusqu'à présent, la forêt, les usages de son bois, plus généralement ceux de la biomasse, n'ont reçu que peu d'attention de ce point de vue ou leur rôle vis-à-vis du changement climatique a été caricaturé de manière excessive. Parmi les raisons de cette exception, figure l'absence d'une méthode simple de comptabilité carbone applicable aux peuplements forestiers, milieux vivants dont l'évolution, selon les essences, les stations, le climat et les pratiques sylvicoles est souvent considérée, à tort, comme trop difficile à quantifier. Par facilité, beaucoup de forestiers, d'énergéticiens, d'industriels et de responsables politiques se rallient au concept de « neutralité carbone », réducteur et infondé, selon lequel l'utilisation de matière ligneuse, et de biomasse en général, serait intrinsèquement sans incidence sur l'effet de serre.

Le document a pour socle un modèle « explicatif » de la dynamique du carbone forestier et de la formation de l'empreinte carbone, qui permet d'éclairer le rôle potentiel de la forêt et du bois dans la lutte contre l'augmentation de l'effet de serre et d'orienter les décisions d'action. L'intention est de décrire de manière compréhensible les échanges de carbone entre la forêt, d'une part, les produits bois qu'on en extrait d'autre part, l'atmosphère enfin, sans prétendre à la finesse de représentation et à l'exactitude quantitative de modèles numériques qui sont performants mais hermétiques pour le non-spécialiste en raison de leur complexité. Pour ce faire, on relève que la dynamique du carbone forestier, en conséquence du principe de conservation, est linéaire et invariante sous réserve que les temps de résidence et autres temps caractéristiques de cette dynamique puissent être admis comme constants, sur des périodes de temps limitées au moins. Dans le cadre d'approximation ainsi défini, les variations des stocks et flux de carbone peuvent être décrites analytiquement, ce qui confère aux résultats une clarté et une généralité que ne permet pas une approche purement numérique. L'ensemble du document propose donc une analyse approfondie du rôle de la forêt et de l'utilisation de son bois dans les échanges de carbone avec l'atmosphère.

Pour ce qui est de la dynamique du carbone et des échanges avec l'atmosphère, la forêt est un système relativement simple, que l'on peut concevoir comme constitué par un assemblage aussi détaillé qu'on le souhaite de compartiments dans lesquels s'applique la loi de conservation, à savoir que la variation du stock résulte de la différence entre flux entrants et sortants. De la même manière, la dynamique du carbone ligneux au travers des utilisations des bois récoltés peut être décrite en termes de compartiments, de stocks et de flux. Cette conception est encore souvent occultée par l'assertion abusive de « neutralité carbone » des usages des bois qui, malheureusement, inspire la plupart des décisions politiques actuelles en matière forestière ou énergétique. C'est par un retour aux fondamentaux que l'on peut mette en lumière les véritables moyens d'action permettant à la forêt de jouer pleinement son rôle dans l'atténuation du changement climatique.

La neutralité carbone : un cas particulier

Si l'on se reporte à la figure 1 qui illustre sommairement les échanges de carbone entre la forêt et l'utilisation de son bois, d'une part, l'atmosphère, d'autre part, l'assertion de neutralité carbone revient à présupposer que la capture nette de carbone par la forêt (flux annuel Φ_C) compense exactement l'émission par combustion ou décomposition du bois récolté (flux $\Phi_É$). Une telle situation, dans laquelle il n'y a pas de variation du stock de carbone dans le système forêt-bois, et donc aucun échange direct net avec l'atmosphère, ne peut s'envisager, sur quelque durée, que dans des conditions de régime permanent statique.

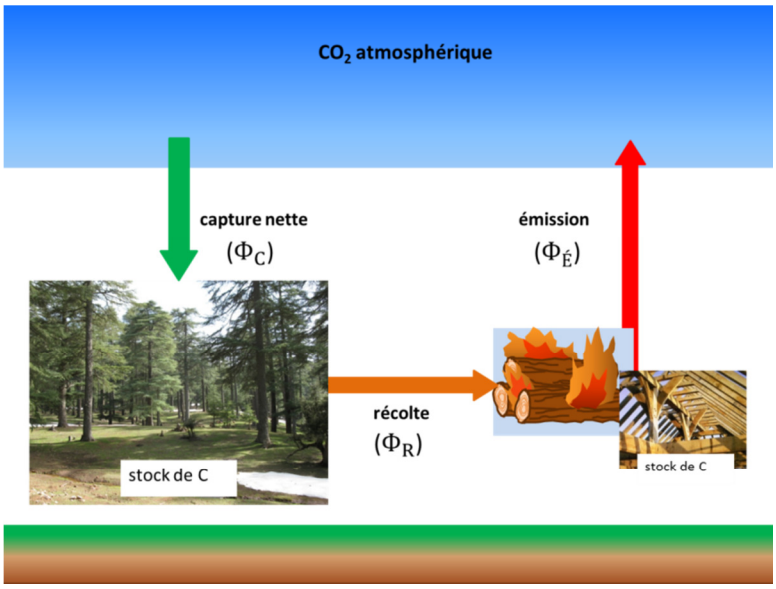

Figure 1 – Flux de carbone échangés entre l'atmosphère, d'une part, la forêt et l'utilisation de son bois, d'autre part.

La comptabilité carbone, dans ces conditions, est simple : on pose « zéro » en ce qui concerne la biomasse ligneuse, et il ne reste qu'à faire la différence entre, d'une part, les émissions qui sont « évitées » lorsque du bois est substitué à d'autres combustibles et matériaux et, d'autre part, les émissions annexes (« amont » relatives à toutes les opérations qui vont de l'exploitation forestière à la mise à disposition du bois récolté et « grises » intervenant dans la fabrication des produits).

La réalité des échanges avec l'atmosphère

En réalité, les flux Φ_C et $\Phi_É$ ne sont pas égaux, sauf cas tout à fait particuliers. Si $\Phi_C > \Phi_É$, la capture l'emporte sur l'émission : l'ensemble constitué par la forêt et les usages du bois accumule du carbone et joue le rôle de « puits » vis-à-vis de l'atmosphère, ce qui est évidemment favorable à l'atténuation du changement climatique. Le rôle est celui de source dans le cas contraire ($\Phi_C < \Phi_É$), avec déstockage de carbone, situation qu'il convient d'éviter.

La comptabilité carbone est alors plus compliquée que ne le laisse supposer l'assertion de neutralité. La variable temps intervient. L'empreinte carbone, définie comme l'intégrale de la balance capture-émission sur une période de temps donnée, est fonction de l'horizon de temps que l'on se fixe. Le cadre d'approximation défini plus haut, qu'on prend soin de valider dans la première partie du document, permet cependant de décrire simplement l'évolution de cette empreinte carbone en conférant au système forêt-bois l'ensemble des propriétés des systèmes linéaires invariants et en traitant le carbone par analogie comme s'il s'agissait d'un fluide incompressible circulant de réservoir en réservoir entre son captage et son retour à l'atmosphère (problèmes de « baignoires et robinets » !).

On est alors conduit, sans grand effort mathématique, à des conclusions radicalement différentes de celles qui découlent de l'assertion de « neutralité carbone » :

- L'empreinte carbone *intrinsèque* du système forêt-bois est la mesure, sur une période de temps donnée, de l'échange net de carbone avec l'atmosphère, abstraction faite des émissions « amont » et « grises ». Cette empreinte correspond, selon le principe de conservation, à la variation, sur cette période, du stock total de carbone dans le système. Les constantes de temps mises en jeu dans cette variation sont diverses ; la plus importante est le temps τ de renouvellement de la biomasse ligneuse, qui se compte en dizaines d'années ou en siècles. Il en résulte que toute action sur la forêt, récolte notamment, peut se répercuter bien au-delà des horizons de temps que fixent les échéances climatiques.

- Le système forêt-bois réunissant deux sous-systèmes couplés par la récolte, on peut considérer l'empreinte carbone globale comme la somme d'une empreinte proprement forestière et de l'empreinte de l'utilisation des bois récoltés. La récolte soustrait une masse de carbone du stock forestier et a donc un impact immédiat (négatif) sur l'empreinte carbone forestière. Mais elle a aussi des effets différés (eux-mêmes négatifs) pour différentes raisons dont les principales sont les suivantes :

  - Le prélèvement s'accompagne de pertes d'exploitation (branchages laissés sur place, racines mortes ou mourantes, biomasse non ligneuse associée, végétation arbustive ou herbacée détruite collatéralement) qui rejoignent le compartiment de nécromasse. Le contenu carbone de ces pertes représente une part importante de celui du prélèvement (jusqu'au tiers) et donc de celui de la récolte (jusqu'à la moitié). La décomposition de ces pertes renvoie leur contenu carbone dans l'atmosphère à relativement court terme (ordre de grandeur de la décennie).
  - Selon les conditions d'exploitation, entre le prélèvement diffus et la coupe rase, la suppression d'arbres capteurs fait que la production biologique nette (flux Φ_C) se trouve plus ou moins réduite tant que le couvert forestier n'est pas rétabli. Le déficit de capture doit être porté au débit dans le bilan carbone.

- Selon les conditions d'exploitation encore, l'évasion de carbone du sol consécutive à la perturbation de la litière et des horizons superficiels s'ajoute, pour une part encore mal définie, aux effets précédents.

En conséquence, la récolte de bois s'accompagne, sur un laps de temps généralement court devant la constante de temps τ, de l'émission dans l'atmosphère d'une masse de carbone pouvant représenter plus de la moitié du contenu carbone de cette récolte. Encore faut-il ajouter, pour être complet, les émissions qui sont liées à toutes les opérations d'exploitation, abattage, débardage, transport... qui se succèdent jusqu'à la mise à disposition des bois récoltés (émissions « amont »).

- Certes, après récolte, la régénération naturelle ou artificielle des arbres exploités et la poursuite de la croissance des autres arbres tendent, toutes choses égales par ailleurs, à effacer les conséquences de la récolte sur l'évolution du stock de carbone forestier et donc sur celle de l'empreinte carbone. La figure 2 illustre ainsi l'effet d'une récolte ponctuelle sur l'empreinte carbone d'un peuplement en croissance : le « saut » a pour amplitude le contenu carbone de la récolte et l'écart d'ordonnées entre les courbes des deux empreintes, sans et avec récolte, représente, en fonction du temps écoulé, la réduction du stock de carbone forestier imputable au prélèvement. Toutes choses restant égales, cette réduction est progressivement compensée par la capture dans l'atmosphère du carbone nécessaire à la reconstitution du peuplement et, pour les temps « longs » ($t \to \infty$), finit par s'annuler, l'évolution de la forêt conduisant dans les deux cas (récolte et non-récolte) au même état d'équilibre statique (stock constant), s'il n'y a pas de changement dans les pratiques sylvicoles,. Il n'en reste pas moins qu'en raison de la valeur habituellement élevée de la constante de temps τ (trois cents ans, en moyenne, pour les peuplements feuillus ou résineux des forêts françaises !), le « coût carbone » du prélèvement peut rester longtemps supérieur au contenu carbone de la récolte. Si donc les horizons de temps que l'on se fixe pour atténuer le changement climatique sont d'ordre de grandeur comparable ou inférieur à celui de τ, l'action de récolte est, en elle-même, contreproductive.

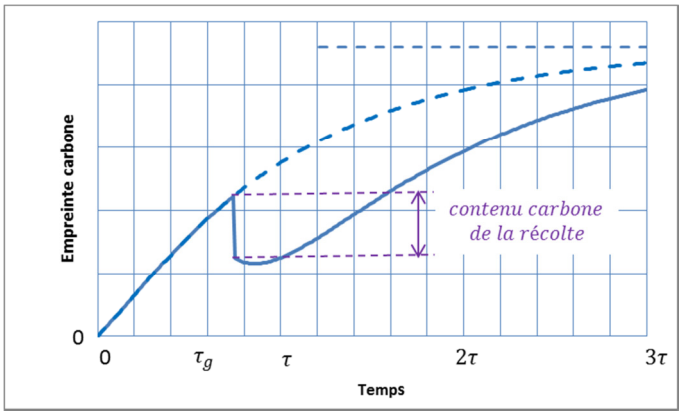

Figure 2 – Evolution de l'empreinte carbone forestière (courbe en trait plein)
pour un scénario de prélèvement ponctuel surimposé à un prélèvement continu constant
dans un peuplement en croissance
(Les émissions annexes sont ici ignorées)

- Le carbone du bois récolté est destiné inévitablement à un retour à l'atmosphère. C'est le cas, à très court terme, si le bois sert de combustible. Si le bois est utilisé pour la fabrication de produits durables, il faut compter avec une certaine proportion de déchets ligneux non recyclés ou non recyclables ; ces déchets renvoient leur contenu carbone à l'atmosphère par combustion ou décomposition, à relativement court terme également. Les produits bois conservent leur contenu carbone, mais seulement pendant leur temps de vie et rejoignent les déchets lorsqu'ils sont hors d'usage. L'empreinte des utilisations du bois, émissions annexes comptées à part, correspond à la variation du stock de carbone issu de la récolte sur l'intervalle de temps pour lequel on détermine cette empreinte, soit, en pratique, au stockage dans les seuls produits ligneux durablement conservés. Dans le cas d'une récolte ponctuelle, le stock de carbone représenté par ces produits est inférieur, dès l'origine, au contenu carbone de la récolte et décroît en fonction du temps suivant une loi de forme exponentielle dont la constante de temps τ_{vie} est la moyenne pondérée des durées de vie des produits. Il en est de même pour l'empreinte carbone correspondante. Cette empreinte s'ajoute à l'empreinte forestière pour former l'empreinte totale du système forêt-bois. À titre d'exemple, la figure 3 complète la figure 2 pour quelques cas d'école. Si la totalité de la récolte de bois sert de combustible, l'empreinte totale ne diffère pas de l'empreinte proprement forestière (courbe pleine bleue) ; si la totalité de la récolte était conservée indéfiniment, l'empreinte totale se déduirait de l'empreinte forestière par une translation verticale dont l'amplitude est celle du contenu carbone de la récolte (courbe pointillée rouge). Ces deux tracés bornent l'intervalle dans lequel s'inscrit l'empreinte selon les proportions de bois utilisée pour l'énergie, vouée à décomposition ou réservée à des usages durables (émissions annexes mises à part). La courbe verte donne un exemple d'empreinte pour un stock initial dans les produits bois égal à la moitié du contenu carbone de la récolte et une durée de vie moyenne τ_{vie} moitié également de la constante de temps principale τ. La prise en compte des émissions annexes (« amont » et « grises ») se traduirait par des translations de ces courbes dans le sens négatif des ordonnées.

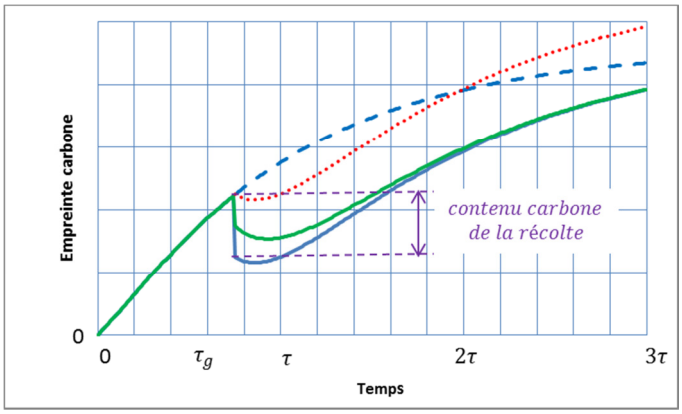

Figure 3 – Evolution de l'empreinte carbone du système forêt-bois dans un scénario de prélèvement ponctuel surimposé à un prélèvement continu constant (cf. figure 2)

courbe interrompue bleue : empreinte de référence (sans prélèvement ponctuel)

courbe continue bleue : récolte immédiatement consumée

courbe pointillée rouge : récolte est indéfiniment conservée

courbe continue verte : récolte pour moitié conservée dans des produits bois de durée de vie moyenne $\tau/2$

(Les émissions annexes sont ici ignorées)

L'empreinte du système forêt-bois reste donc, longtemps après récolte, sinon toujours, inférieure à l'empreinte qu'on observerait en l'absence de récolte, toutes choses égales par ailleurs. Réduire cet impact négatif est possible en diminuant la part de récolte destinée à l'énergie, en privilégiant les applications de bois massif pour réduire la proportion de déchets ligneux, en augmentant la durée de vie des produits... mais, comme cela est analysé dans la troisième partie du document, la régénération de la forêt après récolte et le stockage de carbone hors forêt dans les produits bois issus de la récolte ne peuvent, en général, compenser les pertes de carbone (pertes d'exploitation, pertes de matière, réduction transitoire de production biologique... sans oublier les émissions annexes), sauf exception (conservation de la quasi-totalité du bois récolté pendant des durées grandes devant la constante de temps τ, itinéraire sylvicole amélioré après récolte..). Il tombe d'ailleurs sous le sens que les produits bois issus de la récolte ne peuvent assurer une fonction de séquestration du carbone notable si leur durée de vie, éventuellement prolongée du temps de mise en décharge et de dégradation, ne va pas au-delà des horizons de temps imposés par les échéances climatiques (horizons de trente ans, par exemple, pour l'objectif national de « neutralité carbone » à l'horizon 2050, de quatre-vingts ans pour l'objectif de limitation à 2°C de l'augmentation de température globale à l'horizon 2100).

Une contribution directe des produits bois à l'atténuation du changement climatique paraît donc illusoire, dans les conditions actuelles. En France, par exemple, l'accroissement du stock de carbone dans ces produits est très probablement inférieur à un million de tonnes par an, à comparer aux quelque quinze millions de tonnes de la récolte annuelle et aux vingt-deux millions de tonnes annuellement prélevées. Cet accroissement a donc pour prix un affaiblissement bien plus considérable du puits de carbone forestier.

Les effets de substitution

En remplaçant par du bois d'autres combustibles ou d'autres matériaux, on provoque une augmentation ou une réduction des émissions de gaz à effet de serre dont on doit tenir compte, avec le bon signe, dans l'empreinte carbone de l'utilisation du bois. L'évaluation de telles substitutions devrait se faire au cas par cas, sur la base d'analyses comparées du cycle de vie des produits substituant et substitué, et n'être enregistrée que si la substitution est effective. Or, ces analyses sont généralement conduites sous l'hypothèse contestée de « neutralité carbone » de la matière ligneuse et la plupart des auteurs considèrent que les produits bois substituables remplacent effectivement des produits homologues. Il en résulte que les effets attendus de ces substitutions ne correspondent pas à la réalité ou sont largement surestimés.

- En ce qui concerne **la substitution énergétique**, l'argument actuel est qu'en raison de la « **neutralité carbone »** de l'utilisation du bois, la substitution de bois à des combustibles fossiles évite les émissions de combustion de ces derniers. Il y a dans cet énoncé deux entorses à la rigueur. La première est que « neutralité » veut dire « égalité capture-émission », et absolument pas « absence d'émission lorsqu'on brûle du bois ». La seconde est que la « neutralité » est un cas particulier qu'il est abusif d'ériger en cas général. Or, le facteur d'émission du bois est plus élevé que celui de tout autre combustible et quand on tient compte des pertes d'exploitation et de toutes les émissions « amont » qui sont liées à l'extraction, au transport, au raffinage, au conditionnement des divers combustibles, on arrive à la conclusion que, pour une même énergie rendue, le total des émissions du bois à l'usage est presque le triple de celui du gaz naturel, le

double de celui du pétrole et encore une fois et demie celui du charbon. En remplaçant les combustibles fossiles par du bois, on augmente les émissions au lieu de les réduire.

La substitution énergétique est donc contreproductive. Il serait en conséquence opportun de diminuer la consommation de bois énergie par substitution de combustibles moins carbonés ou, mieux, non carbonés.

- En ce qui concerne la **substitution matériau**, il convient d'être plus nuancé. Il est sans doute possible de trouver des substitutions favorables vis-à-vis de matériaux énergivores et donc fortement émissifs comme l'acier, l'aluminium, ou le béton. Cependant, les analyses de cycle de vie qui permettent l'évaluation des émissions évitées présupposent, le plus souvent, la neutralité carbone du bois ; notamment, les émissions dues à la combustion ou la décomposition des déchets de fabrication ne sont généralement pas prises en compte. Il en résulte que les effets espérés de substitutions sont dans la plupart des cas, largement surestimés.

  Par ailleurs, les réductions d'émission qu'entraînent des substitutions choisies ne peuvent être que marginales. La plus grande part des produits bois nouvellement fabriqués ne sert qu'à remplacer les produits parvenant au terme de leur usage : remplacer du papier par du papier, une charpente par une charpente n'évite pas des émissions. Par ailleurs, il n'y a substitution effective que s'il y a remplacement concret et mesurable de la consommation (ou de la production) d'un certain type de produit par un produit bois ayant même fonction et même durée d'usage. L'augmentation de la consommation d'un produit bois qui ne fait pas diminuer dans la même proportion celle de produits concurrents ne constitue pas une substitution effective mais une addition à la consommation**.**

  Dans ces conditions, il est abusif de prôner, comme c'est le cas actuellement, des augmentations massives de récoltes sans avoir préalablement identifié les substitutions possibles et quantifié convenablement les réductions d'émission (ou augmentations) qu'elles impliquent.

- Mais encore**,** les partisans de l'augmentation des prélèvements en vue de substitutions favorables ne tiennent pas assez compte de leur impact négatif sur le puits de carbone forestier.

  En France, par exemple, un scénario « au fil de l'eau », dans lequel on ne change rien aux pratiques actuelles, garantirait le maintien jusqu'en 2050 d'un puits de carbone de l'ordre de 20 millions de tonnes par an (70 millions de tonnes de CO_2) alors que des scénarios d'augmentation progressive des prélèvements de 50 ou 80 % en 2050 par rapport à leur niveau de 2015, conduiraient à la quasi annulation de ce puits dans le premier cas et, pire, à sa conversion en source dans le second.

Forêt et atténuation du changement climatique

L'option actuelle d'augmenter les prélèvements en forêt pour faire jouer des effets de substitution est, par conséquent, une lourde erreur. Ceci ne veut pas dire que l'exploitation du bois produit par les forêts n'est pas légitime, mais seulement que cette exploitation ne peut être justifiée par des raisons d'atténuation du changement climatique. L'exploitation ne devrait répondre, simplement, qu'à des **nécessités techniques, économiques, sociales ou sociétales,** tout en étant soumise, comme la plupart des activités humaines, à une **comptabilité carbone précise** permettant de juger,

cas par cas, de son bien-fondé (« zéro » pour facteur d'émission de la biomasse n'est pas une comptabilité). Cette comptabilité permettrait une remise en ordre rapide et naturelle.

Par contre, pour faire jouer à la forêt un rôle important et peut-être décisif d'atténuation du changement climatique, le moyen direct est d'augmenter les surfaces boisées et les volumes sur pied par unité de surface, donc de stocker du carbone dans les forêts et, sous condition, dans des produits bois. Pour être efficace, cette stratégie doit s'appuyer davantage sur la reforestation et la restauration de forêts naturelles que sur le développement de forêts de plantation à destination productive.

Les forêts françaises, en ce qui les concerne, sont en croissance, croissance qui pourrait être favorisée en diminuant les prélèvements inutiles (notamment ceux de bois énergie). Encore éloignées de leur état d'équilibre avec un volume moyen d'arbres sur pied de seulement 170 mètres-cubes par hectare (bois fort tige), elles ont, sur leur emprise actuelle (environ 16 millions d'hectares), une capacité de stockage de carbone de deux à trois fois supérieure au stock présent. On peut ainsi envisager, à surface constante, de retirer de l'atmosphère de 1,25 à 2,5 gigatonnes de carbone, non compris le stockage dans le sol. Avec des constantes de temps de la dynamique forestière qui sont de l'ordre de la centaine d'années, un stockage progressif peut se poursuivre bien au-delà des échéances climatiques de la fin de ce siècle en maintenant un puits de carbone important. Un scénario simple « au fil de l'eau » offre la perspective d'un puits de carbone de 20 millions de tonnes en 2050 (plus de 70 $MtCO_2$), puits qui pourrait être porté à 37 MtC/an (135 $MtCO_2$/an) si on diminuait, d'ici là, le prélèvement de 50%, ce qui permettrait de rendre la France « neutre en CO_2 » dès cette date, grâce à la seule forêt, sous réserve d'une réduction de l'ordre d'un facteur 3 des émissions annuelles de carbone fossile (345 $MtCO_2$ en 2017), moins contraignant que celui actuellement envisagé (facteur 4 ou 5). Cette diminution de prélèvement est concevable en la faisant porter principalement sur le bois énergie, remplaçable par des sources moins carbonées ou, mieux, non carbonées.

***