

# FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION  
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

## Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes  
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

[foretnature.be](http://foretnature.be)

**Rédaction** : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. [info@foretnature.be](mailto:info@foretnature.be). T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :  
**librairie.foretnature.be**

---

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :  
**foretnature.be**

Retrouvez les anciens articles de la revue  
et d'autres ressources : **foretnature.be**

# FORÊT ET CARBONE

MARIANNE RUBIO

**Les** écosystèmes forestiers exercent, à l'échelle mondiale, un rôle essentiel en tant que puits de carbone, tout comme les océans. Une forêt gérée durablement agit efficacement en tant que système prélevant du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère, tout en produisant du bois, un matériau qui permet de prolonger le stockage du carbone, et également de limiter les émissions en se substituant à d'autres matériaux ou à des combustibles fossiles, s'il est utilisé pour produire de l'énergie. Forêt et filière bois sont donc aujourd'hui des éléments majeurs de la lutte contre le réchauffement climatique.

---

## FORÊT, PRODUITS BOIS ET CARBONE

---

### Forêt et cycle du carbone

La photosynthèse permet aux arbres de capter le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et de le transformer en molécules organiques grâce à l'énergie solaire. Le carbone est notamment stocké dans les racines, le tronc et le houppier des arbres. Une partie du carbone capté retourne au sol suite à la chute des feuilles et grâce au bois mort. Le processus de décomposition de la litière libère du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère sous l'action de bactéries et de micro-organismes. Une partie du carbone est également transformée en composés organiques immobilisés dans les couches de l'humus ou bien transférés dans le sol.

Ainsi, le stock de carbone dans un écosystème forestier est constitué par le carbone

des arbres vivants, du bois mort sur pied et au sol, de la végétation du sous-bois, de la litière et de la matière organique du sol. Le stock de carbone de la biomasse est très majoritairement situé dans la partie aérienne des arbres : les tiges représentent en moyenne 70 % du stock de la biomasse totale. Les arbres contiennent en moyenne une demi-tonne de carbone par tonne de bois sec.

Au niveau mondial, les forêts renferment, environ la moitié du carbone accumulé par les écosystèmes terrestres, tout en recouvrant un peu moins de 30 % de la surface terrestre. Le stock de carbone dans les forêts dépend du type de forêt (tropicale, tempérée, boréale) et est également très variable pour un même biome. La part la plus importante du carbone stocké se situe dans les forêts boréales, suivies de près par les forêts tropicales (figure 1).

Les résultats observés s'expliquent par la surface occupée par chacun des biomes,

mais aussi par l'importance et la constitution du stock de carbone par hectare.

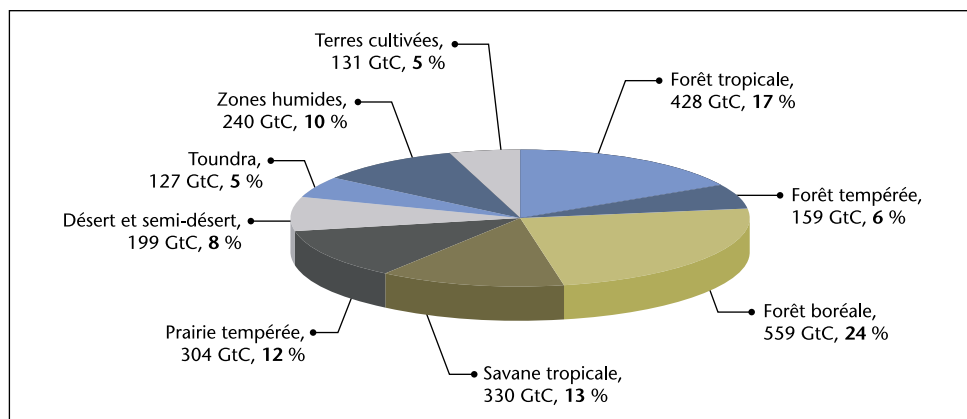
Le stock de carbone en forêt varie, en moyenne, entre 150 et 400 tC/ha, la valeur maximale étant pour la forêt boréale. En moyenne, le stock de carbone forestier est contenu à 70 % dans le sol, et à 30 % dans la biomasse, tous types de forêt confondus (figure 2).

En France métropolitaine, le stock de carbone dans la biomasse forestière est estimé entre 50 et 60 tC/ha, et le stock de carbone dans les sols forestiers autour de 35 à 80 tC/ha suivant les études<sup>2, 8</sup>. Des études plus récentes ont conclu à un stock moyen dans la biomasse autour de 71 tC/ha, avec 76 tC/ha pour les peuplements feuillus et 62 tC/ha pour les peuplements résineux<sup>9</sup>.

### Un bilan global qui tend vers un puits de carbone

Toutes les forêts sont des réservoirs de carbone. Lorsque le stock de carbone augmente, le flux net de l'atmosphère vers

Figure 1 – Stocks globaux de carbone par biome au niveau mondial (en gigatonne de carbone) (végétation et sol jusqu'à une profondeur de 1 mètre)<sup>4</sup>.



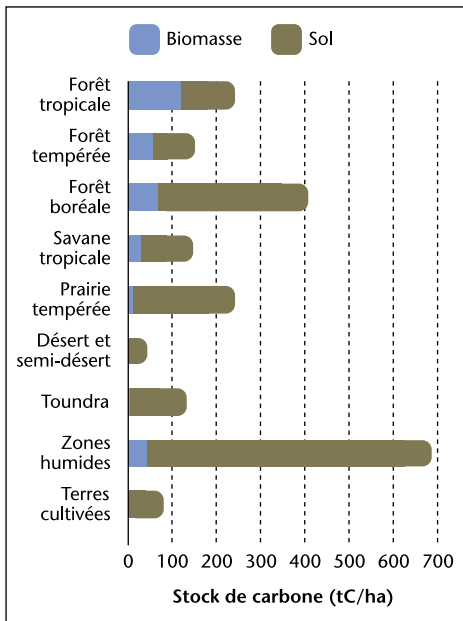
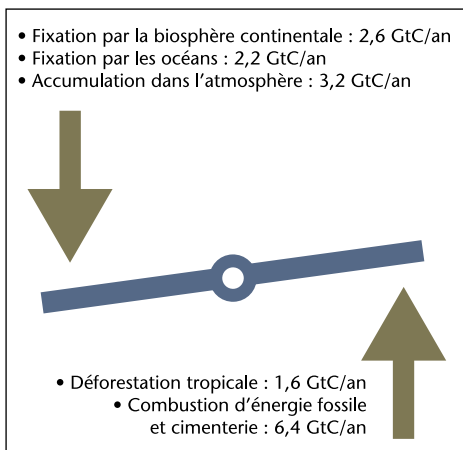


Figure 2 – Stocks de carbone à l’hectare dans les bassins de carbone que représentent la végétation et le sol jusqu’à une profondeur de 1 mètre<sup>4</sup>.

Figure 4 – Bilan des flux atmosphériques sur la décennie ‘90 en milliard de tonnes de carbone par an (source : GIEC 2007<sup>5</sup>).



l’écosystème est positif : on parle alors de puits de carbone. Dans l’autre sens, on parle de source de carbone.

Les émissions mondiales de gaz à effet de serre, majoritairement liées à l’utilisation de combustibles fossiles, sont partiellement compensées par deux puits : les forêts et les océans. Ainsi, l’augmentation de la quantité de CO<sub>2</sub> dans l’atmosphère est de 3,2 GtC/an sur la décennie 1990, alors que les émissions totales d’origine anthropique sont estimées autour de 8 GtC/an (émissions liées à la déforestation comprises). Les océans agissent en tant que puits de carbone à hauteur de 2,2 GtC/an. Les écosystèmes terrestres, par déduction, séquestrent environ 2,6 GtC/an (figure 3)<sup>5</sup>.

Différents facteurs d’origine naturelle, anthropique directe voire indirecte, impactent les écosystèmes terrestres.

Les écosystèmes terrestres, à l’échelle globale, absorbent du carbone plus qu’ils n’en émettent ils se comportent comme des « puits de carbone », le bilan net serait autour de 1 GtC/an. Ces estimations comportent toutefois de très grandes incertitudes.

Il a longtemps été considéré que ce puits se situait principalement dans les latitudes élevées de l’hémisphère nord et s’expliquait en premier lieu par la forte déprise agricole en Europe et en Amérique du Nord au cours du 20<sup>e</sup> siècle, ayant constitué un vaste patrimoine forestier jeune et donc actif pour l’absorption de carbone. L’accroissement de la production primaire nette des forêts de l’hémisphère Nord a en effet des causes directes comme le déficit de récolte des forêts européennes, l’amélioration des

pratiques sylvicoles ou le vieillissement des peuplements. Des causes indirectes comme les dépôts azotés, l'allongement de la saison de végétation dû au réchauffement, ou bien le rôle dopant du CO<sub>2</sub> atmosphérique sont également à prendre en compte<sup>1</sup>.

Ainsi, à l'échelle de la France, en 2010, en métropole, la forêt a fixé un peu plus de 12 millions de tonnes de carbone (source CITEPA), ce qui correspond à peu près à 10 % des émissions de gaz à effet de serre nationales.

Par ailleurs, des recherches plus récentes ont permis de préciser qu'une partie du puits forestier mondial pourrait résulter de flux de carbone au niveau des forêts tropicales. Les forêts tropicales profitent

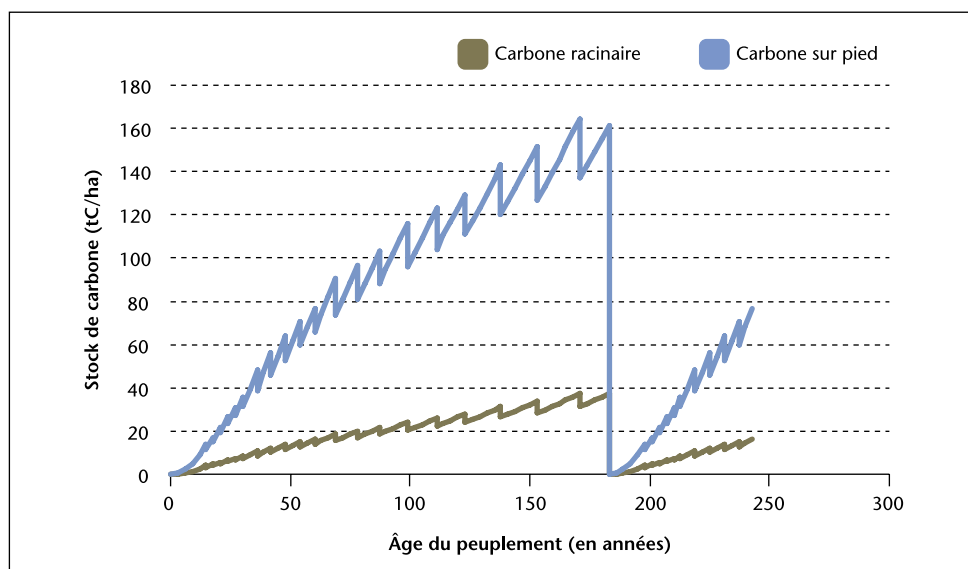
également de l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique, et certaines seraient dans un stade de reconstitution très lente – à l'échelle millénaire – suite à des événements très anciens.

### Forêt et carbone à l'échelle d'un peuplement

L'évolution de la séquestration du carbone dans un peuplement forestier est identique quel que soit le type de peuplement : le stock augmente dans un premier temps avec l'âge, puis il atteint son niveau de saturation à un âge variable selon les essences et les conditions climatiques et pédologiques du site (figure 4).

Une forêt en pleine croissance peut absorber de 3 à 10 tC/ha/an<sup>6,7</sup>. Cette dynamique, couramment admise depuis les

Figure 4 – Évolution du stock de carbone dans la biomasse d'une futaie régulière de chêne sessile (fertilité moyenne, gestion intensive) (source : INRA 2008).



travaux de Olsson<sup>10</sup>, suppose que les forêts âgées sont proches de l'équilibre et neutres vis-à-vis du carbone. Or, certaines études tendraient à démontrer que la biomasse, en forêts tempérée ou boréale, continuerait d'augmenter dans les peuplements âgés pendant plusieurs siècles<sup>11</sup>. Les forêts matures continueraient d'augmenter leur stock de carbone, tout particulièrement dans les sols et dans le compartiment racinaire.

### Carbone et produits bois

Les produits à base de bois participent à la lutte contre le changement climatique à différents titres : grâce au stockage du carbone dans les produits, par la substitution des énergies fossiles et du fait de la substitution de matériaux plus intenses en énergie.

Les produits bois, tels que les constructions, les charpentes, les meubles, mais aussi les emballages, et les papiers, stockent le carbone pendant leur durée de fabrication et leur durée de vie. En effet, un mètre cube de bois stocke environ 1 tonne de CO<sub>2</sub>. Ce stockage se prolonge jusqu'à la décomposition du bois ou à sa combustion.

Par ailleurs l'usage de produits bois peut diminuer directement les émissions de gaz à effet de serre (GES) en se substituant à des produits à plus fort contenu en énergie fossile. C'est grâce à l'énergie solaire que le matériau bois est « produit » par les arbres. C'est principalement grâce aux énergies fossiles que l'homme « produit » des matériaux comme le béton ou l'acier. Avant son utilisation finale, le matériau subit un ensemble de transformations et de transports, eux-mêmes très consommateurs d'énergie. Ainsi l'utilisa-

tion du bois comme matériau aboutit, dans la plupart des cas, à de moindres consommations d'énergie que d'autres matériaux comme le béton, l'acier ou l'aluminium<sup>12</sup>. Cette moindre consommation d'énergie engendre de moindres émissions de CO<sub>2</sub>.

En outre, l'utilisation du bois comme source d'énergie permet d'éviter des émissions de gaz à effet de serre. Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la combustion du bois sont compensées par la croissance des arbres dans les forêts gérées de manière durable. L'utilisation du bois énergie peut ainsi se substituer à des énergies fossiles et éviter les émissions de CO<sub>2</sub> associées.

Une récente étude réalisée en Suisse a démontré, grâce à des simulations, que le bénéfice carbone à l'échelle nationale, était plus grand lorsque la forêt était exploitée de façon durable et le bois utilisé comme produit, que lorsque la forêt évoluait sans intervention du forestier. Ce constat s'explique en grande partie grâce aux effets de substitution, suite à l'utilisation de bois-énergie et de bois matériaux en remplacement d'autres matériaux (figure 5).

---

## FORÊT ET CRÉDITS CARBONE

---

### Forêt et protocole de Kyoto

Le secteur forestier est intégré aux engagements et mécanismes mis en œuvre pour lutter contre l'effet de serre, notamment au travers du Protocole de Kyoto. Les règles appliquées pour la forêt dans les pays développés de 2008 à 2012 étaient néanmoins incomplètes. Elles ont été modifiées, à partir de 2013, à l'issue des négociations de Durban, lors

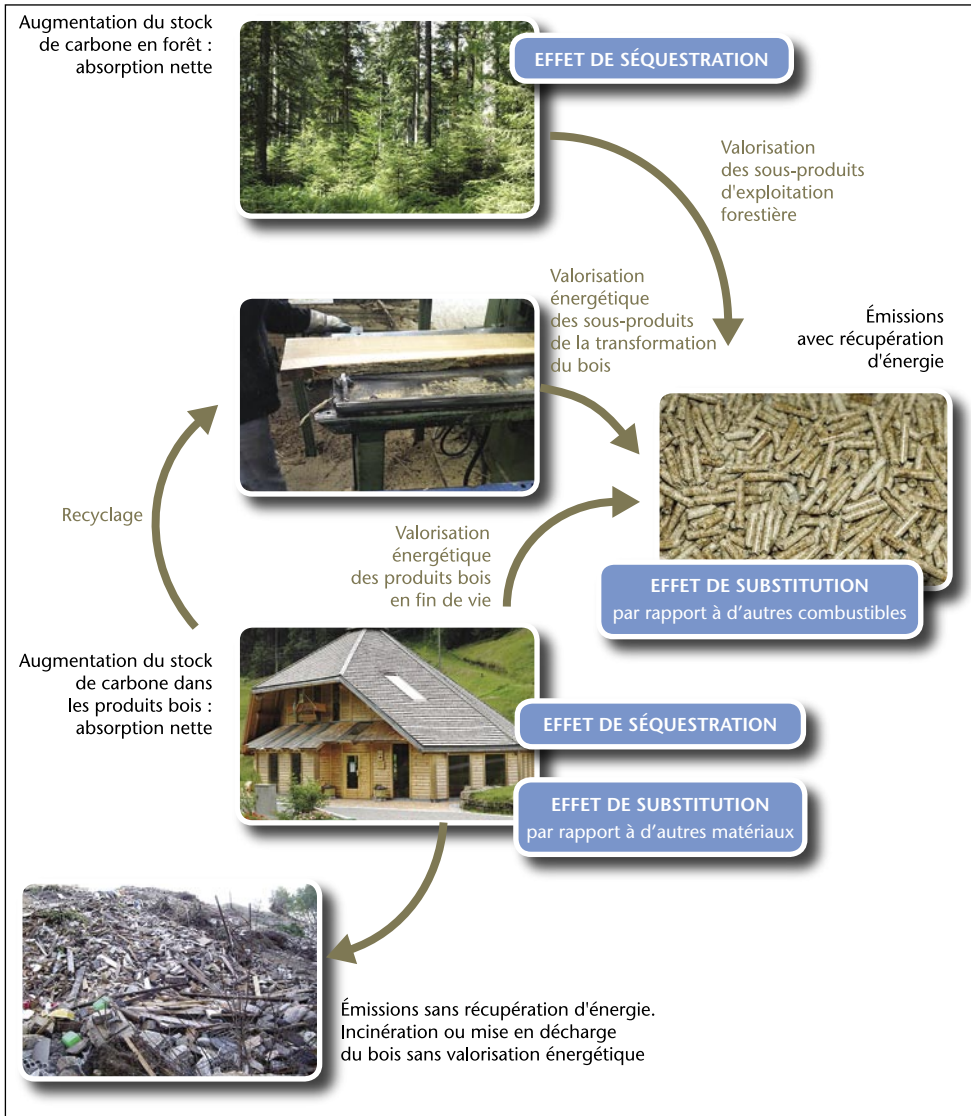


Figure 5 – Séquestration et émissions évitées de carbone suite à la croissance du peuplement forestier et à l'utilisation des produits bois (source : ONF).

de la conférence des Parties sur le changement climatique en 2011. La comptabilisation de la gestion forestière devient obligatoire, le stockage et le déstockage de carbone dans les produits bois sont à présent comptabilisés.

### Les trois mécanismes de flexibilité du protocole de Kyoto

Afin d'atteindre l'objectif de réduction des gaz à effet de serre, le protocole de Kyoto prévoit pour les pays industrialisés qui ont une obligation de résultats, des mé-

canismes dits de « flexibilité » applicables à partir de 2008. Ils ne se substituent pas aux mesures que les États doivent prendre pour respecter leurs engagements, mais ils sont destinés à en faciliter la réalisation. Trois instruments sont prévus dans le protocole :

- les permis d'émission : ils permettent de vendre ou d'acheter sur un marché des droits à émettre entre pays industrialisés ;
- la mise en œuvre conjointe (MOC) : ce mécanisme permet à des pays industrialisés d'obtenir des crédits carbone en investissant dans des projets de réduction d'émission ou de séquestration dans d'autres pays industrialisés ;
- le mécanisme pour le développement propre (MDP) : ce mécanisme permet à des pays industrialisés qui financent des projets de réduction d'émission ou de séquestration de GES dans des pays en développement d'obtenir des crédits carbone.

### Le marché européen fermé aux crédits forestiers

Exemplaire par les objectifs de réduction d'émissions qu'elle s'est assignée, l'Union Européenne a fait preuve d'innovation en mettant en place un système d'échange de droits d'émission de CO<sub>2</sub> dès 2005. Cependant, les secteurs agricole et forestier ne sont pas inclus dans le système d'échange de quotas européens. La directive n° 2004/101/CE, dite « *Linking Directive* », a exclu ces secteurs des mécanismes de projet (MDP et MOC) sur le marché européen. Cette interdiction a été maintenue dans le cadre du Paquet Énergie Climat adopté au Parlement Européen le 17 décembre 2008. De ce fait, les entreprises européennes qui participent au système d'échange de

quotas ne peuvent pas utiliser de « crédits puits de carbone » grâce à des projets forestiers.

### Crédits carbone forestiers et marché volontaire

Le marché des crédits carbone forestier a représenté, en 2011, 237 millions de dollars, pour 26 millions de tonnes CO<sub>2</sub>, avec un prix moyen de 9,2 dollars/tCO<sub>2</sub> (avec des prix variant de moins de 1 dollar à plus de 100 dollars/tCO<sub>2</sub> selon les projets)<sup>3</sup>.

Différents marchés du carbone coexistent, caractérisés par leurs règles, les types d'actifs échangés ainsi que par les acteurs impliqués. Deux grandes catégories se distinguent :

- les marchés régulés qui font intervenir des acteurs qui ont des engagements de réduction d'émissions dans le cadre d'accords internationaux, de politiques nationales ou locales. Ils résultent notamment du Protocole de Kyoto, ou se situent à des échelles plus régionales comme l'EU-ETS (*European Union Emission Trading Scheme*) en Europe ;
- des marchés volontaires où les acteurs prennent des engagements volontaires de réduction de leurs émissions et achètent des réductions d'émissions pour « compenser » ou « neutraliser » leurs impacts sur le climat. Cette demande a créé un marché de détail où s'échangent des crédits volontaires (VER). Des standards volontaires (VCS, VER+, CCBs...) se sont progressivement imposés afin de crédibiliser et professionnaliser en partie ces marchés non régulés. Les transactions font l'objet d'accords, généralement de gré à gré, entre des porteurs de projets et les demandeurs de crédits.



Les crédits échangés sur les marchés régulés représentent 70 % du total des crédits forestiers en volume, et 80 % en valeur. La plupart de ces projets forestiers sont des projets de boisement/reboisement sur des terrains non boisés. La thématique lutte contre la dégradation et la déforestation tropicale (REDD, Réduction des Émissions liées à la Déforestation et à la Dégradation) émerge mais rencontre des difficultés méthodologiques. Un premier projet REDD a été enregistré en 2012 par le VCS et a délivré des crédits carbone. Les projets de gestion forestière restent peu nombreux, ils ont néanmoins la préférence sur les marchés nord américains. ■

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- <sup>1</sup> CANADELL J.G. *et al.* [2007]. Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *PNAS* **104**(47) : 18866–18870.
- <sup>2</sup> DUPOUEY J.-L. *et al.* [2000]. Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. *Revue Forestière Française* **52**(n° special) : 139-154.
- <sup>3</sup> Ecosystem Marketplace [2012]. *Leveraging the Landscape*. State of the Voluntary and Forest Carbon Markets.
- <sup>4</sup> GIEC [2000]. *Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. Cambridge University Press, Royaume-Uni, 375 p.
- <sup>5</sup> GIEC [2007]. *Fourth Assessment Report : Climate Change 2007. The AR4 Synthesis Report*. IPCC, Genève, Suisse, 104 p.
- <sup>6</sup> KOWALSKI A.S., SARTORE M., BURLETT R., BERBIGIER P., LOUSTAU D. [2003]. The annual carbon budget of a French pine forest (*Pinus pinaster*) following harvest. *Global Change Biology* **9** : 1051-1065.
- <sup>7</sup> KOWALSKI A.S. *et al.* [2004]. Paired comparisons of carbon exchange between undistur-

bed and regenerating stands in four managed forests in Europe. *Global Change Biology* **10** : 1707-1723.

- <sup>8</sup> LISKI J., PERRUCHOU D., KARJALAINEN T., [2002]. Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe. *Forest Ecology and Management* **169** : 163-179.
- <sup>9</sup> LOUSTAU D. *et al.* [2010]. *Response of temperate and Mediterranean forests to climate change: effects on carbon cycle, productivity and vulnerability*. Éditions Quae, 348 p.
- <sup>10</sup> OLSSON B.A. [1996]. Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. *Forest Ecology and Management* **82**(1) : 19-32.
- <sup>11</sup> PREGITZER K.S., EUSKIRCHEN E.S. [2004]. Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Global Change Biology* **10**(12) : 2052–2077.
- <sup>12</sup> WERNER *et al.*, Int. J. [2007]. *LCA* **12**(7) : 470-479.

*Cet article est paru précédemment dans le numéro 466 du Bulletin de la Société forestière de Franche-Comté et des Provinces de l'Est. Il a aimablement été mis à jour par l'auteur pour cette parution.*

### MARIANNE RUBIO

marianne.rubio@onf.fr

Chargé de mission effet de serre  
et énergies renouvelables,  
Direction de l'environnement  
et des risques naturels,  
Office National des Forêts  
2, avenue de Saint Mandé  
F-75570 Paris cédex 12