



**AgEcon** SEARCH  
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

# Recyclage des papiers et cartons : Impacts carbone sur la filière forêt-bois

## Philippe Delacote

(auteur de correspondance)  
BETA, Université de Lorraine, CNRS, INRAE, AgroParisTech,  
Chaire Economie du Climat,  
Univ. Paris Dauphine, Paris, France  
philippe.delacote@inrae.fr

## Antonello Lobianco

BETA, Université de Lorraine, CNRS, INRAE,  
AgroParisTech, Nancy, France

## Etienne Lorang

Department of Economics, Tilburg School of Economics and  
Management, Tilburg University, The Netherlands;  
Chaire Economie du Climat, Univ. Paris Dauphine, Paris, France

## Lise Peragin

LEDA, Université Paris-Dauphine, ADEME,  
Chaire Economie du climat, Paris, France

**F**ace à des enjeux environnementaux multiples, le concept d'économie circulaire, dont le recyclage constitue un des sept piliers, est parfois présenté comme un système permettant de générer des bénéfices économiques et écologiques de manière conjointe. En théorie, un usage accru du recyclage permet de réduire la pression sur les matières premières brutes, ainsi que de réduire les stocks de déchets dont la gestion peut s'avérer problématique (risques de contamination des sols et des nappes phréatiques, d'émanations toxiques ou d'incendies).

Toutefois, celui-ci ne doit pas apparaître comme la solution miracle aux questions environnementales. Par exemple, même s'il présente souvent un meilleur bilan carbone que l'extraction de matière vierge, le recyclage n'est pas exempt d'émissions de gaz à effet de serre (Delacote, Lorang et Lafforgue, 2019). Ainsi, le recours au recyclage ne dédouane pas d'une nécessaire action sur la sobriété, et les arbitrages ressource-déchets-carbone doivent être analysés avec attention.

### La filière forêt-bois et le recyclage des papiers et cartons

Parmi les produits pour lesquels le recyclage pose un certain nombre de questions, en particulier en lien avec les émissions de gaz à effet de serre (GES), les papiers et cartons sont un exemple intéressant. Ainsi un rapport de l'ADEME et de la Fédération professionnelle des entreprises du recyclage (FEDEREC et ADEME, 2017) avance le fait qu'un usage accru du recyclage de ces matières a tendance à augmenter les émissions de GES, soulignant ainsi un nécessaire arbitrage entre gestion des déchets, d'une part, et lutte contre le changement climatique, de l'autre.

Dans une étude récente (Lorang, Lobianco et Delacote, 2023), nous avons approfondi ce résultat, en décomposant notamment les sources de stockage et d'émissions de GES dans la filière forêt-bois : émissions du recyclage, impacts sur le reste de la filière, stocks de carbone sur pied. Pour cela, nous utilisons le modèle de simulation prospective de la filière forêt-bois française (FFSM), dans lequel nous avons introduit une dynamique de recyclage (voir encadré). Nous conduisons ensuite un ensemble de simulations du modèle, pour étudier comment une baisse des coûts de recyclage peut influencer le bilan carbone de la filière.

Il nous est apparu qu'un élément clé de cette réflexion était lié à la substituabilité ou à la complémentarité entre pâte à papier vierge et recyclée. En d'autres termes, est-il possible de substituer une ressource à une autre, ou doit-on utiliser une combinaison des deux dans les processus industriels ?

Il existe un très grand nombre de types de papiers et cartons de qualités et de natures différentes. De ce fait, les liens entre pâtes vierges et recyclées ne sont pas uniformes dans les processus de production. Certains usages permettent une bonne substituabilité (ex : la presse papier, où le taux de fibres recyclées utilisées peut atteindre 100 % dans certains journaux), alors que d'autres nécessitent de la complémentarité (ex : les papiers bureautiques et papiers d'hygiène, où les attentes du consommateur, telles que la blancheur ou la douceur, et des obstacles techniques limitent l'utilisation de papiers recyclés).

Dans nos simulations, nous utilisons un paramètre synthétique, une élasticité de substitution qui décrit comment ces deux types de produits se combinent en moyenne dans la filière. Ceci nous permet d'établir trois scénarios : dans un cas, nous considérons que, globalement, les pâtes à papier sont faiblement complémentaires (cas  $fc$ ) ; dans un second, nous envisageons le cas d'une faible substituabilité (cas  $fs$ ) ; enfin, un troisième cas décrit le cas où les usages dans la filière conduiraient à une forte substituabilité entre ces deux produits (cas  $s$ ).

### Impacts carbone d'un recours accru au recyclage dans la filière

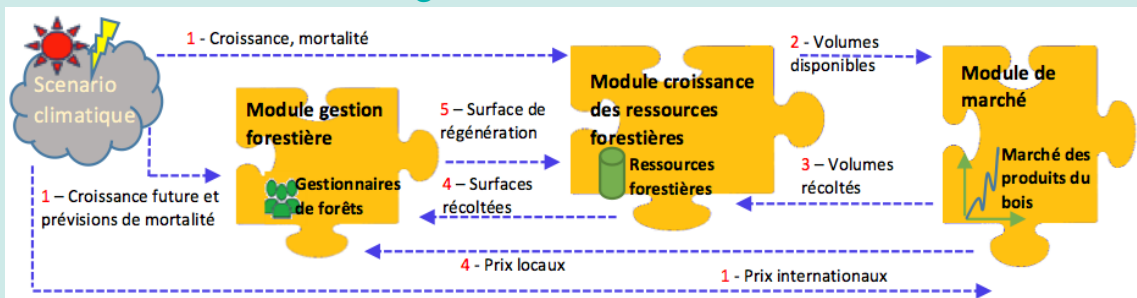
On peut distinguer deux types d'impact d'une baisse des coûts du recyclage sur les émissions de gaz à effet de serre de la filière forêt-bois. Il est tout d'abord source d'émissions directes dans la filière papetière ; il impacte ensuite les stocks de carbone sur pied, séquestrés dans la ressource forestière.

Une baisse des coûts de recyclage conduit naturellement à un usage accru de la ressource recyclée. Les émissions de gaz à effet de serre qui y sont liées augmentent donc elles aussi. Cette augmentation peut conduire à diminuer les usages de pâte à papier vierge, lorsque les deux produits sont substituables. A l'inverse, elle les augmente lorsque les deux produits sont complémentaires (figure 2). Au total, cette baisse des coûts augmente les émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble de la filière papetière (figure 3). Les résultats montrés dans les figures 2 et 3 sont des moyennes annuelles sur la période 2013-2080.

### Encadré : Le modèle FFSM, études prospectives de la filière forêt-bois française

Le French Forest Sector Model (FFSM) (voir figure 1) est un modèle bioéconomique de la filière forêts-bois française, utilisé pour l'analyse prospective de scénarios d'évolution de la filière. Le modèle couple (1) un module de croissance de la ressource forestière, (2) un module de marché qui calcule chaque année les offres et demandes de produits bois, ainsi que leurs prix et (3) un module de gestion forestière. Enfin un module de comptabilisation carbone (non représenté) évalue les stocks de carbone dans la ressource forestière ainsi que les flux d'émissions de gaz à effet de serre et les effets de substitution (l'usage de certains produits bois permet de réduire les émissions liées à la consommation de leurs substituts, dont la production est plus intense en GES). Le modèle FFSM est utilisé pour l'analyse de scénarios prospectifs, qui peuvent porter sur les impacts de politiques publiques (Caurla et al., 2013) et énergétiques (Caurla et al., 2018), sur l'adaptation au changement climatique (Lobianco et al., 2016) ou sur la survenance de risques liés aux tempêtes (Caurla, Garcia et Niedzwiedz, 2015), aux espèces invasives (Petucco et al., 2020), ou au feu (Rivière et al., 2022). Pour la mise en place de cette étude, une boucle de recyclage a été mise en place : chaque année, les quantités de pâte à papier utilisées viennent remplir un stock de produits ( $W$ ) qui seront potentiellement recyclés et utilisés dans la filière. Ce stock est pris en compte dans une fonction d'offre de papiers à recycler (équation 1), qui dépend également des prix de cette matière ( $P_{waste}$ ). Ce stock de déchets est transformé en pâte à papier recyclée à un coût donné  $P_{recyt}$ . La demande de pâte à papier recyclée dépend quant à elle du prix de cette matière, et du prix de la pâte à papier vierge. L'utilisation de ces produits recyclés dépendra fortement des hypothèses posées en termes de substituabilité ou de complémentarité entre pâtes à papier vierges et recyclées, représentée par le paramètre  $\eta$ . Nos simulations portent à la fois sur une réduction des coûts du recyclage (scénarios *low*, *med*, *high*), et sur des niveaux de faible complémentarité  $fc$ , faible substituabilité  $fs$  et forte substituabilité  $s$ . Les simulations portent sur la période 2013-2080.

Figure 1 : le modèle FFSM



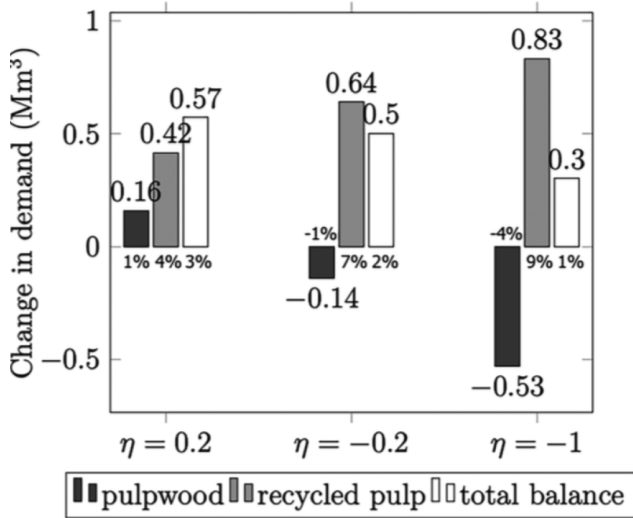
Offre de papier à recycler :

$$S_{wastet} = S_{wastet-1} \left( \frac{P_{wastet}}{P_{wastet-1}} \right)^\epsilon \left( \frac{W_t}{W_{t-1}} \right)^\beta \quad (1)$$

Demande de pâte à papier recyclée :

$$D_{recyt} = D_{recyt-1} \left( \frac{P_{recyt}}{P_{recyt-1}} \right)^\sigma \left( \frac{P_{recyt}}{P_{pulpt}} \right)^\eta \left( \frac{P_{pulpt-1}}{P_{recyt-1}} \right) \quad (2)$$

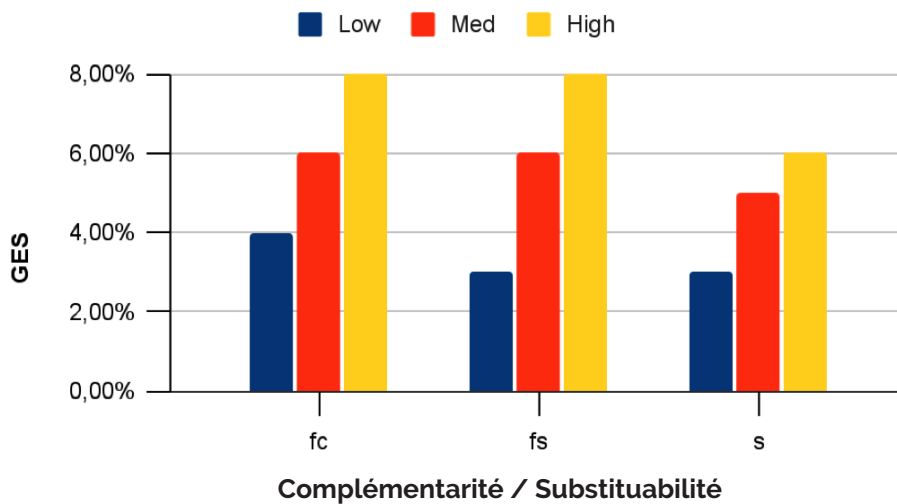
**Figure 2 :** impact sur les usages de pâte à papier vierge (pulpwood) et recyclée (recycled pulp) avec complémentarité ( $\eta > 0$ ) et substituabilité ( $\eta < 0$ )



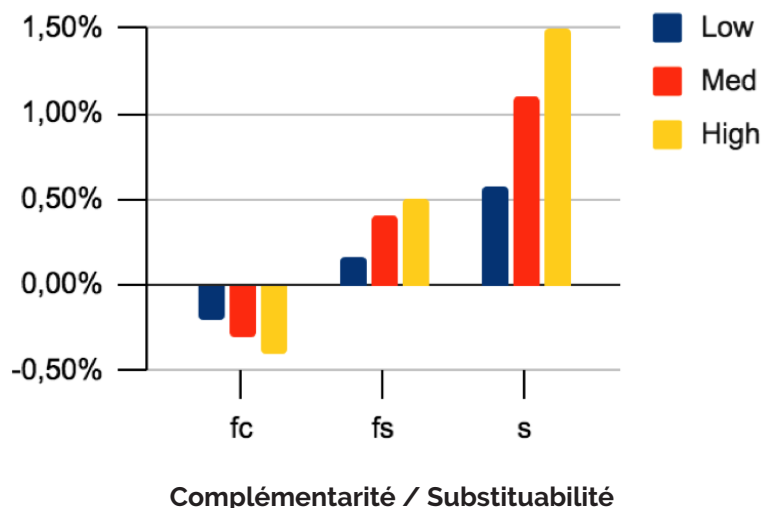
Ces dynamiques sur les usages de pâte à papier vierge ont des effets indirects sur le reste de la filière, qui restent néanmoins bien plus faibles que les précédents. En effet, on peut montrer qu'une hausse de l'usage de pâte à papier vierge, engendrée par une hausse de l'usage de pâte recyclée dans un cas de complémentarité, conduit à des effets d'éviction sur d'autres produits bois. On observe alors une baisse des usages, par exemple dans le bois énergie ou d'autres produits bois. Cet effet indirect peut avoir un impact sur le bilan carbone de la filière, via l'effet de substitution. Cet effet est représenté par le différentiel d'émissions de GES entre la production et l'usage d'un produit bois et celle d'un produit concurrent. Par exemple, une hausse de l'usage du bois énergie permet une baisse des usages d'énergie fossile. Toutefois, nous montrons que ces impacts sont très faibles: inférieurs à 0,6 % pour la substitution énergétique; inférieurs à 0,1 % pour la substitution matériaux.

Ces dynamiques d'usage des produits ont également des répercussions sur les ressources en bois, et donc sur les stocks de carbone en forêt. Là encore, les cas de substituabilité ou de complémentarité entre les pâtes à papier sont déterminants. Si les deux produits peuvent se substituer l'un à l'autre, une baisse des coûts de recyclage entraîne un moindre usage de la pâte vierge, ce qui réduit la pression

**Figure 3 :** augmentation des GES dans l'industrie papetière avec différentes baisses de coûts (bas = low, moyen = med, haut = high) et complémentarité faible (fc), substitution faible (fs) ou forte (s)



**Figure 4 :** variation du stock de carbone forestier avec différentes baisses de coûts (bas = low, moyen = med, haut = high)



sur les forêts, et améliore ainsi le stock de carbone séquestré dans les forêts. À l'inverse, dans un cas de complémentarité, une baisse des coûts induit une hausse des usages de la pâte vierge, et donc des prélèvements plus intenses en forêt, ce qui pousse à réduire le stock de carbone séquestré en forêt (figure 4).

Le bilan carbone global sur l'ensemble de la filière suite à une baisse des coûts de recyclage est composé de la somme des effets directs sur la filière papiers/cartons, des effets indirects sur les autres produits de la filière forêt-bois, et des effets sur les stocks de ressources forestières (figure 5). Au total, un meilleur bilan carbone (c'est à dire une baisse des émissions totales ou une augmentation du stock net) est obtenu dans un cas de forte substituabilité, alors que le bilan est négatif (c'est à dire une hausse des émissions totales ou une diminution du stock net), dans un cas de complémentarité.

### Conclusion : substituabilité ou complémentarité ?

Notre étude souligne que l'évolution des processus industriels et de la composition de la demande seront essentiels pour comprendre quels peuvent être les impacts d'un usage accru du recyclage dans la filière papiers et cartons.

La substituabilité entre papiers-cartons recyclés et pâte vierge a été relativement peu étudiée dans la littérature économique. Des élasticités de substitution positives mais faibles ont été estimées à partir de données assez anciennes sur l'industrie papetière américaine et suédoise (Lee et Ma, 2001 ; Samakovlis, 2003). En France, les coûts engendrés par une plus grande incorporation de papiers-cartons recyclés n'ont pas été quantifiés. En moyenne, ces derniers représentent 66 % de l'approvisionnement de l'industrie française, avec de fortes disparités selon les types de papiers-cartons (Mission d'information sur la filière du recyclage du papier, 2021). Certains secteurs, comme le papier bureautique, considèrent qu'augmenter cette part n'est techniquement et économiquement pas possible. Les coûts d'adaptation des processus industriels seraient trop élevés et les attentes des consommateurs ne seraient plus satisfaites.

Si les usages tendent vers une plus grande complémentarité entre matière vierge et recyclée, alors une baisse des coûts de recyclage conduira à une augmentation de l'utilisation de pâte à papier vierge, à une augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans la filière et une augmentation des prélèvements en forêt. On aura donc ici une situation d'arbitrage entre gestion des déchets, d'une part, et gestion de la ressource et émissions de GES, de l'autre. Ceci peut être le cas si la part des emballages et conditionnements augmente dans la production et que la consommation augmente, puisque c'est le secteur qui consomme le plus de papiers-cartons recyclés relativement à sa production.

À l'inverse, si ces usages tendent vers une plus grande substituabilité, alors nous aurons une situation de synergie entre ces trois indicateurs. L'augmentation de l'utilisation de pâte à papier recyclée permettra une moindre utilisation de pâte vierge. Cela pourra être le cas si les

consommations et production de papiers d'hygiène augmentent, car c'est le secteur qui utilise le moins de papiers-cartons recyclés relativement à sa production.

### Pour en savoir plus

**Caurla S., Delacote P., Lecocq F. et Barkaoui A. (2013).** Stimulating fuelwood consumption through public policies: An assessment of economic and resource impacts based on the French Forest Sector Model. *Energy Policy*, 63: 338-347.

**Caurla S., Garcia S. et Niedzwiedz A. (2015).** Store or export? An economic evaluation of financial compensation to forest sector after windstorm. The case of Hurricane Klaus. *Forest Policy and Economics* 61(C): 30-38.

**Caurla S., Bertrand V., Delacote P. et Le Cadre E. (2018).** Heat or power: How to increase the use of energy wood at the lowest cost? *Energy Economics* 75(C): 85-103.

**Delacote P., Lorang E. et Lafforgue G. (2019).** Pourquoi l'économie circulaire ne doit pas remplacer la sobriété. *The Conversation*, 30 juin 2019.

**FEDEREC et ADEME (2017).** Evaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie. Rapport technique, FEDEREC et ADEME, 2017.

**Lee M. et Ma H.-O. (2001).** Substitution possibility between unpriced pulp and wastepaper in the U.S. paper and paperboard industry. *Environmental and Resource Economics* 18: 251-273.

**Lobianco A., Caurla S., Delacote P. et Barkaoui A. (2016).** Carbon mitigation potential of the French forest sector under threat of combined physical and market impacts due to climate change. *Journal of Forest Economics* 23: 4-26.

**Lorang E., Lobianco A. et Delacote P. (2023).** Increasing paper and cardboard recycling: Impacts on the forest sector and carbon emissions. *Environmental Modeling & Assessment* 28: 189-200.

**Mission d'information de la Commission du développement durable et de l'aménagement du territoire (2021).** Rapport d'information sur la filière du recyclage du papier, 21 janvier 2021.

**Petucco C., Lobianco A. et Caurla S. (2020).** Economic evaluation of an invasive forest pathogen at a large scale: The case of Ash Dieback in France. *Environmental Modeling & Assessment* 25: 1-21.

**Rivière M., Pimont F., Delacote P., Caurla S., Ruffault, J., Lobianco, A. et al. (2022).** A bioeconomic projection of climate-induced wildfire risk in the forest sector. *Earth's Future* 10.

**Samakovlis, E. (2003).** The Relationship between Waste Paper and Other Inputs in the Swedish Paper Industry. *Environmental and Resource Economics* 25: 191-212.