

Analyse du cycle de vie du papier Equal Offset d'AbitibiBowater comparé au papier fin non couché

**RAPPORT DESTINÉ À DES TIERS
Novembre 2009**

Préparé par AbitibiBowater et basé sur une étude de cycle de vie
effectuée par :

D^r Matty Janssen
*Titulaire d'une bourse de recherche post-doctorale
École Polytechnique - Montréal*

D^r Paul R. Stuart
*Professeur de génie chimique
École Polytechnique - Montréal*



Analyse du cycle de vie du papier Equal Offset d'AbitibiBowater comparé au papier fin non couché

RÉSUMÉ

Le présent rapport résume l'analyse du cycle de vie (ACV) du papier Equal Offset^{MC} (EO) d'AbitibiBowater comparé au papier fin non couché (UFS) traditionnel, les deux papiers étant utilisés dans des applications similaires. L'étude, commanditée par AbitibiBowater, avait pour but d'évaluer objectivement les forces et les faiblesses du papier EO pour ce qui est de son impact sur l'environnement. La caractérisation a été effectuée selon la méthode IMPACT 2002+, dans le cadre de laquelle on a comparé l'impact environnemental en fonction de 15 paramètres. On a constaté que l'impact environnemental du papier EO était plus de 50 % inférieur à celui du papier UFS pour 5 paramètres et de 25 à 50 % inférieur dans 5 autres catégories. Pour 4 des 5 catégories restantes, la différence était moins significative.

INTRODUCTION

L'étude a été réalisée par le professeur Paul Stuart et Matty Janssen, Ph. D., du département de génie chimique de l'École Polytechnique de l'Université de Montréal.

Il y a quatre étapes distinctes à suivre pour réaliser une ACV :

1. Définir l'objectif et la portée de l'étude.
2. Constituer un inventaire des intrants et des extrants des procédés impliqués dans la fabrication, l'utilisation et l'élimination du produit.
3. Évaluer les impacts potentiels sur l'environnement associés aux intrants et aux extrants figurant à l'inventaire.
4. Interpréter les résultats de l'analyse d'impact.

De plus, des spécialistes de l'extérieur ont procédé à une analyse systématique et critique de l'ACV pour s'assurer que les résultats de l'étude étaient objectifs et conformes à la méthodologie acceptée.

1a. OBJECTIF DE L'ÉTUDE

L'étude avait pour but de comparer les impacts environnementaux de deux produits du papier faits de fibre vierge à 100 %, soit le papier fin non couché (UFS), produit dans le sud des États-Unis et au Québec, et le papier Equal Offset^{MC} (EO) d'AbitibiBowater, produit à son usine d'Alma, au Québec¹, des papiers qui offrent une surface d'impression précise pour l'impression offset, en faisant appel à une méthode ACV. L'objectif était de fournir aux clients d'AbitibiBowater une évaluation crédible et scientifiquement éprouvée des impacts environnementaux du papier EO comparativement au papier UFS traditionnel.

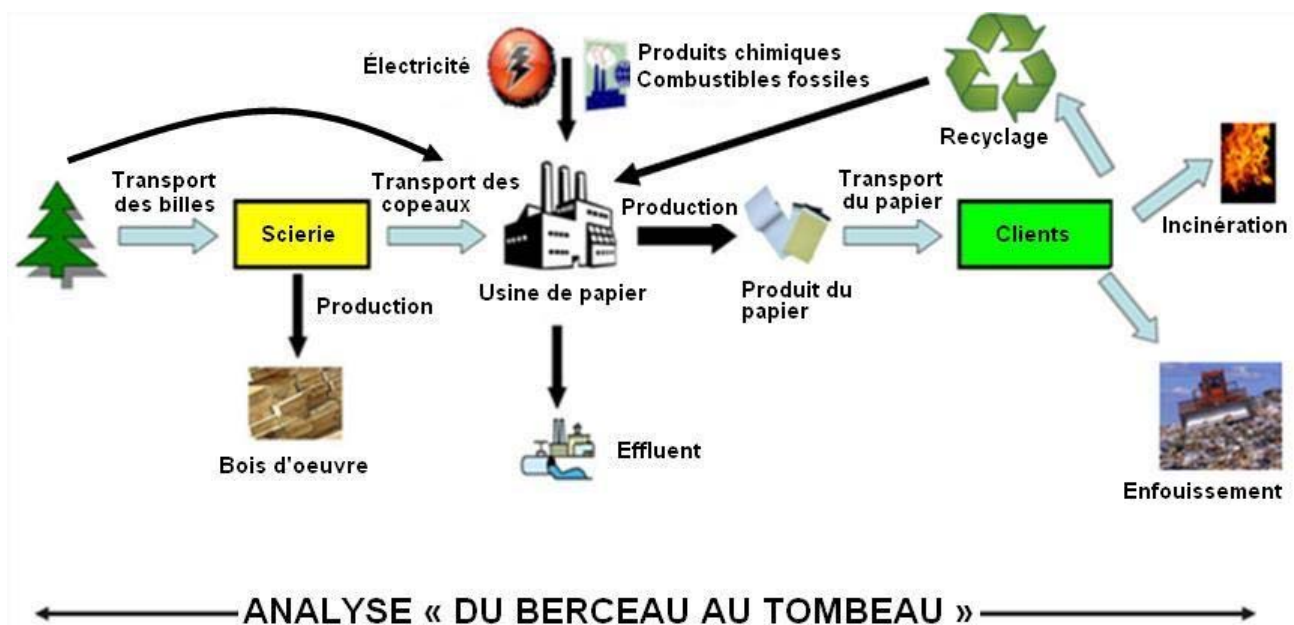
¹ L'étude originale réalisée par l'École Polytechnique incluait aussi du papier EO fabriqué à notre usine de Beauré, au Québec, mais cette installation a été fermée en octobre 2009.

1b. PORTÉE DE L'ÉTUDE

Le papier Equal Offset^{MC} est vendu comme produit de remplacement plus léger du papier UFS pour diverses applications en impression offset. La fonction des deux produits est d'offrir une surface d'impression pour l'impression offset. L'expérience avec les clients a démontré que les produits étaient interchangeables et que la qualité d'impression du papier EO était au moins aussi bonne que celle du papier UFS. Comme unité fonctionnelle, on a choisi 500 feuilles de papier de 8½ po x 11 po, ou 30,16 mètres carrés de surface d'impression. Le poids de l'unité fonctionnelle est de 1,89 kg pour le papier EO et de 2,23 kg pour le papier UFS.

Pour cette analyse du berceau au tombeau, comme le montre la figure 1, les intrants comprenaient la fibre de bois provenant de la forêt, les produits chimiques, les combustibles et l'électricité. Les extrants incluait les émissions atmosphériques, les effluents liquides et les déchets solides, de même que l'élimination du produit à la fin de sa vie. Le transport à chaque étape du cycle de vie a aussi été pris en compte. La seule étape exclue de l'analyse était l'utilisation du produit par l'imprimeur et l'utilisateur final. Comme il s'agissait d'une analyse comparative et comme les deux produits sont utilisés par les mêmes clients de la même manière et pour les mêmes fins, il y aurait peu ou pas de différence au niveau de l'impact de la phase de l'utilisation.

Figure 1 : Étapes du cycle de vie pour les deux produits



2. ANALYSE DE L'INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE

Les données pour l'inventaire du cycle de vie du papier EO ont été fournies par l'usine d'AbitibiBowater qui fabrique ce produit à Alma, au Québec. La majorité des données dataient de 2006, bien que dans certains cas, on ait utilisé des données de 2007 (parce que celles de 2006 n'étaient pas disponibles ou parce que les données de 2007 étaient plus représentatives de la situation actuelle). Pour les deux usines de papier UFS, les données relatives à la production, à l'utilisation des matières premières et à la consommation d'énergie provenaient de la base de données Cornerstone de RISI [1], et les données sur les extrants environnementaux provenaient de l'inventaire des rejets toxiques de l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis [2] et de l'Inventaire national des rejets de polluants d'Environnement Canada [3]. Les données concernant les procédés en amont (fabrication des produits chimiques, production d'électricité et de

combustibles fossiles et utilisation de ces ressources, et exploitation forestière) et les procédés pour lesquels il était difficile d'obtenir des données primaires ont été complétées au moyen de la base de données Ecoinvent [4]. Les critères régissant l'inclusion ou l'exclusion de processus ou de flux étaient basés sur l'expérience vécue dans le cadre des études antérieures (par exemple [5]).

Le papier EO est produit à l'usine d'AbitibiBowater située à Alma, au Québec. La fibre de bois arrive à l'usine sous forme de copeaux en provenance de scieries dans une proportion de 100 %. La pâte qui sert à produire ce papier est de la pâte mécanique de résineux à 100 %, et elle est blanchie avec du peroxyde d'hydrogène.

Deux usines de papier UFS ont été choisies, la première au Québec et l'autre dans le sud-est des États-Unis. Les deux établissements, d'importants fabricants de papier UFS, ont fourni un produit représentatif. La fibre de bois arrive aux usines sous forme de billes et de copeaux. Ce papier est fait de pâte chimique vierge à 100 %. Les résultats de l'inventaire représentaient une moyenne pondérée de la production annuelle de papier UFS des deux usines.

Afin de tenir compte des effets du transport du produit jusqu'au client de l'usine, on a choisi un client hypothétique établi dans l'État de la Virginie. Ce dernier recevrait le papier en bobines à son atelier d'imprimerie et distribuerait ensuite le produit imprimé à ses clients.

Selon le scénario de fin de vie, même si une partie des matières seront recyclées, la totalité des matières finira par être éliminée, soit par enfouissement, soit par incinération. Dans ce cas, on a présumé en se basant sur une analyse antérieure [5] que 80 % des matières seraient enfouies et 20 % incinérées.

Les chiffres relatifs à l'inventaire du cycle de vie représentent la quantité de substance associée à l'unité fonctionnelle dans chaque cas. On a présumé que toutes les données obtenues de sources primaires étaient correctes. On a complété les données secondaires avec des renseignements provenant de la base de données Ecoinvent [4]. Les activités en amont du sciage ont été imputées au bois d'œuvre et aux copeaux de bois (pour la production de pâte) selon leur rapport de masse. On a ensuite procédé à une analyse de sensibilité pour observer l'impact de l'imputation au bois d'œuvre, aux copeaux de bois et aux déchets de bois. On trouvera dans le tableau 1 une liste des principaux flux de matière et d'énergie calculés pour chaque unité fonctionnelle.

Tableau 1 : Principales différences entre les deux produits, par unité fonctionnelle

	Equal Offset	Papier fin non couché
Masse de l'unité fonctionnelle, kg	1,89	2,23
Teneur en eau, %	6,5	6,5
Teneur en charge (« filler ») et sauce de couchage, %	20	18
Composition de la pâte, %	73 (PTM)	76 (kraft)
Rendement de la pâte, %	93	47(résineux), 49 (feuillus)
Transport des matières premières, t-km	1,5	5,4
Transport, livraison du produit, t-km	3,0	3,2
Combustibles fossiles, MJ	8,9	15,0
Combustibles issus de la biomasse, MJ	0,5	11,5
Électricité, kWh	5,0	1,0

3. ÉVALUATION DES IMPACTS SUR LE CYCLE DE VIE

L'évaluation des impacts a été faite selon la méthode de caractérisation IMPACT 2002+ [6]. Selon cette méthode, les résultats de l'inventaire sont reliés à quatre catégories de dommages (dommages sur la santé humaine, sur la qualité des écosystèmes, sur les ressources naturelles et sur le changement climatique) en passant par plusieurs catégories médianes. Seules les catégories médianes ont servi à cette étude. L'analyse a donc porté sur les 15 catégories médianes d'impact suivantes :

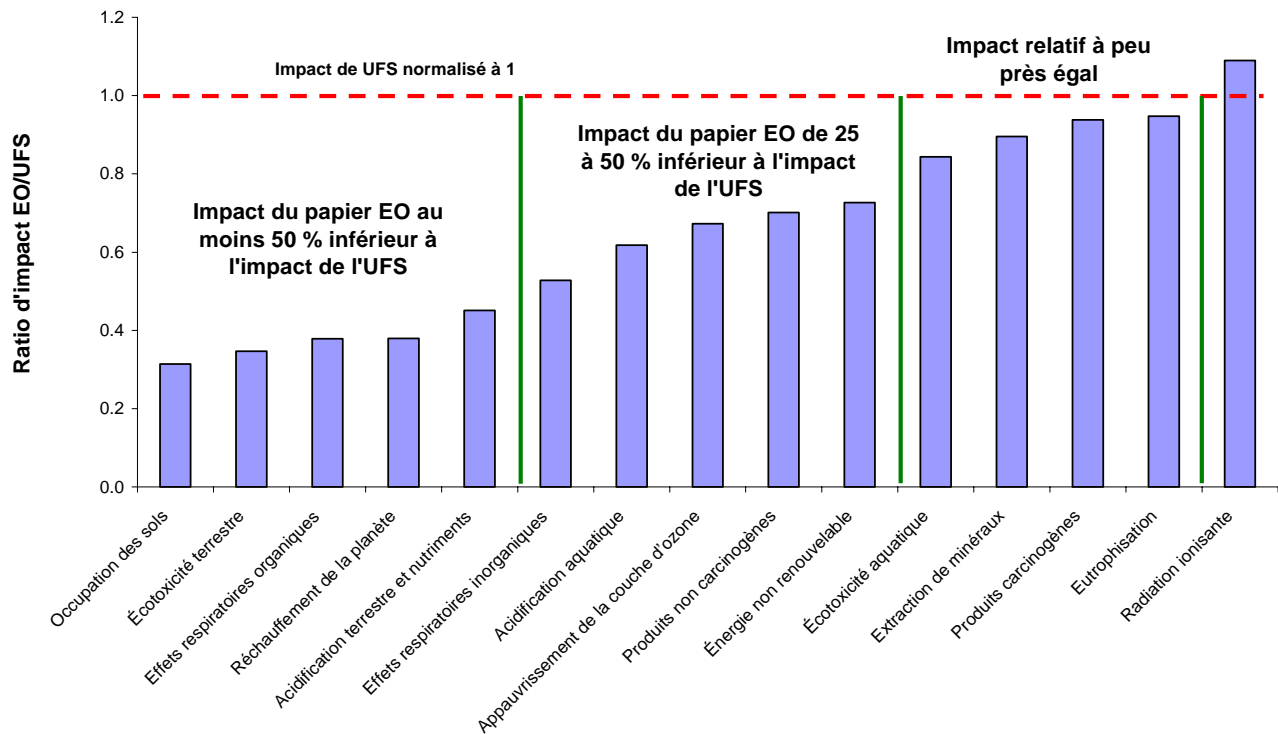
- Occupation des sols (impact de l'occupation d'un territoire sur les espèces végétales)
- Extraction des minéraux (énergie requise pour traiter un minerai)
- Écotoxicité terrestre (impact des substances dans le sol sur les végétaux et les animaux)
- Acidification terrestre et nutriments (causée par des dépôts inorganiques comme les sulfates, les nitrates et les phosphates)
- Réchauffement de la planète (effet des gaz à effet de serre dans l'atmosphère)
- Utilisation d'énergie non renouvelable (sources d'énergie qui ne sont pas renouvelables)
- Effets respiratoires (organiques) (effets respiratoires des composés organiques volatils)
- Effets respiratoires (inorganiques) (effets respiratoires des particules et des substances inorganiques comme le SO₂)
- Acidification aquatique (rejets dans l'eau de substances comme les sulfates, les nitrates et les phosphates)
- Écotoxicité aquatique (matières toxiques libérées dans l'eau comme les métaux lourds)
- Eutrophisation (rejet de nutriments dans l'eau)
- Émissions de produits carcinogènes (impacts possibles du rejet de substances carcinogènes)
- Émissions de produits non carcinogènes (impacts possibles du rejet de substances non carcinogènes)
- Appauvrissement de la couche d'ozone (impacts des rayons UV causés par les émissions de substances appauvrissant la couche d'ozone)
- Radiation ionisante (impacts des rejets de matières radioactives – en particulier l'énergie nucléaire)

Tous les calculs ont été faits au moyen du logiciel Simapro 7 fourni par Pré Consultants [7].

On a comparé les résultats de l'analyse des impacts pour les papiers EO et UFS pour chaque unité fonctionnelle en normalisant les résultats du papier UFS par rapport au résultat du papier EO pour chaque catégorie médiane (papier UFS = 1). Ainsi, on a pu comparer directement l'impact **relatif** pour chaque catégorie. Cette méthode ne permet pas de comparer l'impact global relatif de différentes catégories ni d'exprimer l'impact environnemental absolu des produits.

Les résultats sont résumés dans la figure 2; on trouvera des détails dans l'annexe. L'axe des y indique le ratio de l'impact du papier EO sur l'impact du papier UFS. La ligne rouge en pointillé indique un ratio de un, c'est-à-dire l'impact normalisé du papier UFS. Ainsi, pour les cinq premières catégories du côté gauche du graphique, l'impact du papier EO correspond à moins de la moitié de celui du papier UFS. Pour les cinq catégories suivantes, l'impact du papier EO est de 25 à 50 % inférieur. Pour les quatre catégories suivantes, l'impact du papier EO est inférieur d'un pourcentage de 25 % ou moins. La dernière catégorie, la radiation ionisante, est un indicateur de la présence d'énergie nucléaire dans le réseau de distribution de l'électricité. Celui du Québec comprend 4 % d'énergie nucléaire, tandis que l'usine américaine n'a pas accès à cette forme d'énergie. On trouvera dans la section 4 plus de détails sur l'interprétation de ces résultats.

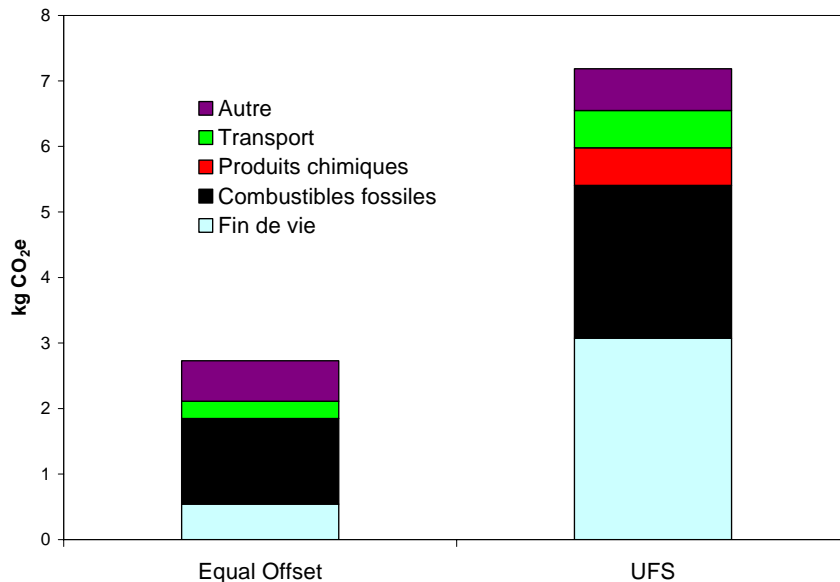
Figure 2 : Impact relatif du papier Equal Offset comparé à celui du papier fin non couché



Réchauffement de la planète

Le réchauffement de la planète ou les émissions de gaz à effet de serre (GES) intéressent particulièrement de nombreux clients. On peut voir dans la figure 3 une comparaison des deux produits montrant quelles parties des procédés contribuent aux émissions de GES pendant le cycle de vie du produit. On a constaté que le papier EO n'émet qu'environ 38 % des émissions du papier UFS selon l'approche du berceau au tombeau.

Figure 3 : Contribution des procédés aux émissions de gaz à effet de serre pour les papiers EO et UFS (par unité fonctionnelle)



Analyses de scénarios

Pour évaluer l'impact de certains des choix de modélisation qui ont été faits, on a analysé trois scénarios.

1. Inclusion des déchets de bois : Dans le modèle original, les impacts environnementaux causés par les activités de sciage n'avaient été imputés qu'au bois d'œuvre (39 %) et aux copeaux de bois (61 %). On a envisagé de les imputer au bois d'œuvre (30 %), aux copeaux de bois (47 %) et aux déchets de bois (23 %), puisque les deux usines de papier UFS se servent énormément des déchets de bois comme combustible. Les résultats ont révélé une diminution du ratio d'impact EO/UFS pour l'occupation des sols (de 0,32 à 0,28). Tous les autres ratios d'impact ont varié de moins de 4 %.

2. Lignine dans les sites d'enfouissement : Selon les études qui ont été publiées sur la production de méthane dans les sites d'enfouissement anaérobies [8], les produits faits de pâte mécanique, comme le papier journal, se dégradent beaucoup moins que les papiers de bureau faits de pâte chimique. Ce phénomène semble s'expliquer par la non-réactivité de la lignine dans les réactions de décomposition, ainsi que par la « protection » d'une partie de la cellulose. Selon d'autres études menées par l'EPA, on estime que 85 % du carbone présent dans le papier journal reste intact, comparativement à seulement 12 % dans le cas des papiers de bureau [9]. Les résultats de l'EPA sur les émissions de méthane ont été intégrés dans le modèle Simapro de base, et ces résultats ont été comparés à la situation où les deux produits se décomposeraient à la même vitesse dans le site d'enfouissement, en utilisant le modèle par défaut Ecoinvent pour les sites d'enfouissement anaérobies. Les résultats ont démontré que les catégories Réchauffement de la planète et Effets respiratoires organiques étaient affectés. Si l'on excluait le traitement différentiel de la production de méthane dans les sites d'enfouissement, le ratio d'impact EO/UFS pour le réchauffement de la planète passerait de 0,38 à 0,56 et le ratio pour les effets respiratoires organiques, de 0,38 à 0,71 (à cause des effets respiratoires du méthane libéré dans l'atmosphère).

3. Utilisation du territoire : le taux de croissance des arbres dans le sud des États-Unis est environ le double de celui du Québec, réalité dont le modèle ne tient pas compte. Nous avons analysé la différence entre les deux régions. Notre modélisation prévoyait une diminution de 50 % de la superficie nécessaire à la croissance de 1 m³ de résineux/feuillus.

Selon les moyennes pondérées de l'impact à toutes les usines, le ratio d'impact EO/UFS pour la catégorie Occupation des sols a augmenté de 10 %, ce qui démontre qu'un taux de croissance des arbres plus élevé a une incidence positive sur la performance environnementale de l'usine de papier UFS située dans le sud des États-Unis (les modèles pour les autres usines n'ont pas changé dans le cadre de notre analyse).

4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Le papier EO est à base de pâte mécanique, une pâte ayant un plus haut rendement et donnant au papier plus de bouffant que le papier fait de pâte chimique, de sorte qu'on utilise moins d'arbres pour produire la même quantité de papier. Ce facteur a énormément d'influence sur de nombreuses catégories incluses dans l'analyse d'impact, comme l'occupation des sols pour la foresterie, et sur les catégories pour lesquelles le transport a de l'importance, étant donné le besoin réduit de transport de matières premières. Il faut aussi plus de produits chimiques pour fabriquer et blanchir la pâte servant à produire le papier UFS, et l'empreinte environnementale de ces produits chimiques contribue à certaines des différences observées. Le combustible fossile est un autre facteur important; ceci s'explique en partie par le type de combustible utilisé pour la production de vapeur et en partie par le fait que 95 % de l'électricité utilisée par l'usine de papier EO située au Québec est d'origine hydroélectrique, tandis que l'usine américaine consomme plus de combustibles fossiles

pour produire de l'électricité. Le tableau 2 montre une répartition approximative de la contribution des différents procédés aux catégories d'impact qui présentent les différences les plus importantes.

Tableau 2 : Contribution des procédés aux principales différences d'impact

	Principale influence	2 ^e influence	3 ^e influence	4 ^e influence
Occupation des sols	Foresterie (59 %)	Fabrication des produits chimiques (30 %)		
Écotoxicité terrestre	Cendres des chaudières (31 %)	Fabrication des produits chimiques (26 %)	Transport jusqu'à l'usine (20 %)	
Effets respiratoires organiques	Fin de vie (78 %)	Transport jusqu'à l'usine (8 %)		
Réchauffement de la planète	Fin de vie (57 %)	Combustibles fossiles – vapeur et électricité (23 %)	Fabrication des produits chimiques (13 %)	Transport jusqu'à l'usine (7 %)
Acidification terrestre et nutriments	Émissions des chaudières (28 %)	Transport jusqu'à l'usine (26 %)	Combustibles fossiles – vapeur et électricité (18 %)	Produits chimiques (13 %)
Effets respiratoires inorganiques	Émissions des chaudières (33 %)	Transport jusqu'à l'usine (24 %)	Combustibles fossiles – vapeur et électricité (14 %)	
Acidification aquatique	Combustibles fossiles – vapeur et électricité (35 %)	Fabrication des produits chimiques (29 %)	Émissions des chaudières (10 %)	

Note : les pourcentages indiqués représentent la contribution à la différence d'impact totale. Par exemple, pour le réchauffement de la planète (figure 3), la différence d'impact totale est de 4,5 kg d'équivalent CO₂.

Voici d'autres explications sur les différences :

Occupation des sols : Il faut plus d'arbres pour produire le papier UFS parce que le rendement de la pâte est inférieur. De plus, comme la teneur en amidon est plus élevée, il faut plus de terres agricoles pour cultiver le maïs et les pommes de terre.

Écotoxicité terrestre : Il s'agit des substances libérées dans le sol, comme les métaux lourds, qui nuisent aux végétaux et aux espèces animales comme les vers de terre. Les cendres issues des chaudières, la culture du maïs et le transport sont des facteurs qui contribuent aux différences d'impact.

Réchauffement de la planète : L'effet le plus important concerne la fin de vie, comme nous l'expliquons dans la section 2 ci-dessus, qui fait référence à l'analyse de sensibilité. Le papier UFS nécessitait plus de combustibles fossiles (à l'usine ou pour la production des produits chimiques et de l'électricité), et le transport était un facteur plus important.

Effets respiratoires organiques : Le méthane libéré par les sites d'enfouissement était le facteur le plus important et le transport jouait aussi un rôle significatif.

Acidification terrestre et nutriments : Il s'agit de l'effet des dépôts dans le sol de substances inorganiques comme les sulfates, les nitrates et les phosphates. Pour le papier UFS, les chaudières libèrent plus de soufre et d'azote, on utilise plus de combustibles fossiles dans le cycle de vie (y compris le transport) et il faut aussi tenir compte des effets de la culture du maïs.

Effets respiratoires inorganiques: Ils sont principalement la conséquence des émissions de particules en suspension dans l'air, du SO₂ et du NO_x issus de la combustion. Les chaudières, le transport et l'utilisation globale des combustibles fossiles en dégagent davantage dans le cycle de vie du papier UFS.

Acidification aquatique : Elle est principalement imputable à l'utilisation de charbon dans l'usine située dans le sud des États-Unis, et à l'utilisation d'amidon, de soufre et d'acide sulfurique dans le papier UFS.

La raison qui explique l'impact légèrement plus élevé du papier EO pour la catégorie Radiation ionisante est que le réseau de distribution de l'électricité du Québec comprend 4 % d'énergie nucléaire, tandis que l'usine américaine de papier UFS n'a pas accès à cette forme d'énergie.

Hypothèses et limites

L'ACV a été effectuée pour le papier Equal Offset produit à l'usine d'AbitibiBowater située à Alma, et les données d'inventaire proviennent directement des dossiers de production. Les chiffres pour le papier EO sont donc fiables. Quand à la production de papier UFS, comme on ne dispose pas de données pour représenter l'ensemble de l'industrie nord-américaine, on a choisi deux usines qui sont d'importantes productrices de papier UFS destiné à l'impression et à la transformation. Les résultats de la comparaison pourraient varier quelque peu selon le profil individuel des usines choisies, mais certains facteurs, comme l'utilisation des produits chimiques et le rendement de la pâte, ne varieraient pas de façon significative par rapport aux installations productrices de papier EO. Les données proviennent de bases de données indépendantes et achetées, de sorte que leur précision dépend de la qualité des informations fournies à ces parties par les usines.

AbitibiBowater estime que les résultats de l'ACV devraient être similaires, sans être identiques, à ceux de ses autres produits de remplacement des papiers UFS produits à Alma, comme l'Alternative Offset, l'ECOPAQUE^{MC}, l'ECOLASER^{MC} et l'ECOPAQUE LASER^{MC}, puisque le procédé de fabrication est le même et que les seuls paramètres qui les différencient sont la quantité et la formulation de la sauce de couchage, qui ont relativement peu d'influence sur les impacts environnementaux.

Les résultats ne peuvent pas être appliqués directement aux produits de remplacement des papiers UFS fabriqués dans d'autres installations de production d'AbitibiBowater, comme l'Alternative Offset produit à Fort Frances, en Ontario, ou encore l'AbiBowHYBRID produit à Calhoun, au Tennessee.

5. ANALYSE CRITIQUE

Cette étude a fait l'objet d'un examen par les pairs dont l'objectif était de faire valider les observations par un tiers indépendant. Cet examen a été effectué par le Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG), et le groupe d'experts était composé des personnes suivantes :

Mike Bradley, directeur, Technologie et développement durable, Canfor Pulp L.P.

Maria Wellisch, conseillère à la recherche, Ressources naturelles Canada

Jean-François Ménard, analyste principal, CIRAIG

Une bonne partie des commentaires portaient sur le libellé des observations et des conclusions, et sur la nécessité d'éclaircir certaines questions. Des corrections appropriées ont été apportées à la suite de ces commentaires. Par ailleurs, voici certains des sujets qui ont été soulevés, ainsi que la réponse de l'École Polytechnique :

	Commentaire de l'évaluateur	Réponse
1	L'exclusion de la phase de l'utilisation du papier empêche d'établir des profils environnementaux complets.	Le manque de données nous a empêchés d'examiner cette phase, mais le principal objectif de l'étude était de procéder à une analyse comparative et l'impact de la phase de l'utilisation devrait être similaire pour les deux papiers.
2	Qu'advient-il de l'effet du recyclage sur le produit avant qu'il n'atteigne la phase d'élimination?	Il n'y a aucune raison de présumer qu'il y aura une différence dans le taux de recyclage des deux produits.
3	Quelles sont les études qui comprenaient des activités humaines et des infrastructures et qui ont démontré que ces facteurs étaient négligeables?	Un bonne partie du travail visant à élaborer un modèle d'ACV de base pour le secteur des pâtes et papiers et à déterminer quels procédés devaient être inclus ou exclus a été effectuée au préalable par l'École Polytechnique. La référence 5 a été ajoutée.
4	Le modèle SimaPro n'a été analysé par aucun des évaluateurs.	Non, mais AbitibiBowater a eu l'occasion d'analyser le modèle, et elle a trouvé quelques erreurs de calcul mineures, qui ont été corrigées.
5	Les usines qui font de la cogénération devraient être traitées en conséquence afin de permettre l'imputation à l'électricité et aux produits dérivés de la chaleur.	Toute l'énergie produite a été utilisée dans ces usines; elle est donc imputée entièrement au papier.
6	Pour la catégorie Occupation des sols, on n'obtient pas une comparaison juste en comparant la forêt naturelle (au Québec) à la forêt de plantation (usine américaine de papier UFS). Les résultats devraient expliquer la différence.	Nous avons inclus une analyse de sensibilité pour tenir compte du cycle de croissance plus rapide de la forêt de plantation américaine. Nous avons aussi préparé une ventilation de la contribution des divers procédés à la catégorie Occupation des sols, qui montre que la différence importante entre les deux produits est imputable en partie à la culture du maïs.

RÉFÉRENCES :

- [1] RISI, Analytical Cornerstone Database, site Web : <http://www.risiinfo.com/>(2008).
- [2] Environmental Protection Agency, EPA Toxics Release Inventory, site Web : <http://www.epa.gov/enviro/html/tris/index.html> (2008).
- [3] Environnement Canada, base de données de l'INRP d'Environnement Canada, site Web : <http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/> (2008).
- [4] R. Frischknecht, N. Jungbluth, H.-J. Althaus, G. Doka, R. Dones, T. Heck, S. Hellweg, R. Hischier, T. Nemecek, G. Rebitzer, M. Spielmann, The ecoinvent database: Overview and methodological framework, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 10(1), 3–9 (2005).
- [5] C. Gaudreault, Cadre méthodologique de gestion du cycle de vie appliqué à l'industrie papetière, thèse de doctorat, École Polytechnique de Montréal (2008).
- [6] O. Jolliet, M. Margni, R. Charles, S. Humbert, J. Payet, G. Rebitzer, R. Rosenbaum, Impact 2002+: A new life cycle impact assessment methodology, *International Journal of Life Cycle Assessment* 8(6), 324–330 (2003).
- [7] Pré Consultants, logiciel d'ACV SimaPro, site Web : <http://www.pre.nl/simapro/> (2008).
- [8] Eleazer, W.E., Odle, W.S., Wang, Y-S and M.A. Barlaz, Biodegradability of Municipal Solid Waste Components in Laboratory-Scale Landfills, *Environ. Sci. Technol.*, 31, 911-917 (1997).
- [9] EPA, Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, 3^e édition, sept. 2006, rapport de l'EPA 530-R-02-006, site Web : www.epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/fullreport.pdf (2009).

ANNEXE :

Résultats d'impact selon la modélisation SimaPro

Catégorie d'impact	Unité (par unité fonctionnelle)	Equal Offset	Papier fin non couché	Ratio EO/UFS
Occupation des sols	m ² eq terre arable organique.an	0,34	1,09	0,31
Écotoxicité terrestre	kgeq triéthylèneglycol dans le sol	62	178	0,35
Effets respiratoires organiques	kgeq CO ₂ dans l'air	0,0017	0,0045	0,38
Réchauffement de la planète	kgeq éthylène dans l'air	2,7	7,2	0,38
Acidification terrestre et nutriments	kgeq SO ₂ dans l'air	0,05	0,12	0,45
Effets respiratoires inorganiques	kgeq PM _{2,5} dans l'air	0,0028	0,0054	0,53
Acidification aquatique	kgeq SO ₂ dans l'air	0,0079	0,0128	0,62
Appauvrissement de la couche d'ozone	kgeq chloroéthylène dans l'air	2,4E-07	3,5E-07	0,67
Produits non carcinogènes	kgeq CFC-11 dans l'air	0,20	0,28	0,70
Énergie non renouvelable	MJ primaires non renouvelables	32	44	0,73
Écotoxicité aquatique	kgeq triéthylèneglycol dans l'eau	92456	109608	0,84
Extraction de minéraux	Bgeq C-14 dans l'air	0,022	0,024	0,90
Produits carcinogènes	MJ surplus	0,061	0,065	0,94
Eutrophisation	kgeq chloroéthylène dans l'air	0,0039	0,0041	0,95
Radiation ionisante	kgeq PO ₄ ³⁻ dans l'eau	0,039	0,036	1,09