* * *

Diplôme d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement

"Analyse de Cycle de Vie comparative de l'impression noir et blanc, et couleur" (Cas particulier de l'impression domestique et de bureau en Europe)

Travail de Fin d'Etudes présenté par
Pierre Sohier
en vue de l'obtention du grade académique de
Diplômé d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement

Année Académique : 2002-2003

Directeur : Prof. Marc Degrez

0 Résumé

Les études traitant de sujets liés à l'environnement (Analyses de Cycles de Vie, Eco-bilans, Gestion stratégique des déchets, Etudes d'Incidences sur l'Environnement, etc.) souffrent généralement de lacunes de connaissances. Cet état des lieux génère des inquiétudes dans de nombreux domaines d'activités, c'est notamment le cas dans le domaine de l'impression, et plus spécifiquement dans celui de l'impression domestique et de bureau (dite S.O.H.O.), où l'utilisation de la couleur tend à se généraliser fortement. Les types d'imprimantes à jet d'encre, laser ou les copieurs évoluent tout autant que les encres qu'ils utilisent, et il en va de même de la qualité du papier imprimé. Il s'agit donc d'un secteur en pleine mutation dont on ne sait toujours pas si le choix du type d'impression (noir et blanc, ou couleur) constitue un enjeu environnemental. Faut-il freiner, encourager ou ne pas agir sur cette consommation croissante d'encres couleurs?

Ce travail a pour but de déterminer laquelle de l'impression noir et blanc ou couleur induit le plus d'impacts sur l'environnement. Il s'est rapidement avéré que le facteur 'couleur de l'encre' seul ne suffisait pas pour la paramétrisation du système devant être étudié. En effet, un rapide survol du secteur de l'impression S.O.H.O. a permis de comprendre que les impacts n'étaient pas uniquement reliés à la constitution des encres, à la production des colorants entrant dans leurs compositions etc., et que les propriétés physico-chimique de l'encre, lorsque ses composants volatils sont évaporés après son dépôt sur le papier (i.e. les propriétés du papier imprimé), influencent grandement le taux de recyclabilité du papier. Les impacts sur le cycle de vie sont donc modifiés, et ce malgré que l'encre ne soit plus l'élément analysé.

La définition de l'*unité fonctionnelle* devait permettre de comparer les divers scénarii d'impression imaginables, tenir compte des impressions recto et recto verso, sur 4 qualités de papier à copier (papier avec ou sans bois, couché ou non couché), noir et blanc, et couleur, et à l'aide d'une imprimante à jet d'encre, laser ou d'un copieur. Il a été décidé de définir l'unité fonctionnelle comme : *« L'impression de 1000 faces de papier à copier de format A4 et d'une densité de 80 g/m² ».* Pour la majorité des données, la crédibilité, la validité géographique et temporelle furent aisées à définir. Par contre ce ne fut guère le cas pour leur précision et quant à savoir si ces informations étaient complètes. Cet état de fait pose un problème de comparaison de résultats ne considérant pas le même «niveau de détail». Afin d'assurer l'objectivité des conclusions, la qualité des données récoltées sont différentiées en données fiables, peu fiables et très peu fiables.

La composition des encres et la percolation en décharge (ou lixiviation) constituent des points faibles des impacts environnementaux. Les compositions précises des encres ne purent être obtenues. En conséquence, des analyses furent effectuées dans un laboratoire de l'ULB.

Les résultats de l'étude aboutissent aux conclusions suivantes :

- L'amélioration des impacts liés à l'acidification de l'air et de l'effet de serre du système passe par une croissance du taux de collecte des vieux papiers (ce taux est approximé par le CEPI à 45 % pour la moyenne européenne de 2002). Il ne faut pas oublier cependant que l'amélioration de ce taux diminuerait la qualité des vieux papiers puisque les fibres ne sont pas recyclables à l'infini. Selon les études, une fibre peut être recyclée de 2 à 7 fois. Les coûts de transport régulent l'avantage de la collecte, et démontrent que la celle-ci ne constitue pas une solution globale, du moins si la demande en papier continue à croître.
- Les déchets produits par les encres solides sont compensés par l'amélioration de leur taux de recyclage. Il y déplacement des impacts sur l'effet de serre et l'acidification de l'air. Il s'agit d'un problème nécessitant une analyse multicritères, le choix doit être établi selon les objectifs environnementaux prioritaires.
- Dans l'état actuel du marché, les encres couleurs semblent légèrement « moins écologiques » que les encres noires, mais pas de façon systématique puisque le type d'encre (solide ou liquide) constitue un paramètre important. De plus, si l'on considère l'ensemble des catégories d'impacts, la différence semble non significative (une étude statistique serait nécessaire pour mieux définir cette évaluation).
- La production de papier est effectivement responsable majoritairement des impacts environnementaux, mais cela ne signifie pas que c'est à ce niveau que des améliorations technologiques diminuant les impacts (ou les intrants) puissent apporter les meilleures solutions dans le cycle de vie du papier imprimé.

Table des Matières

0 Résumé ____ *1*

1 Introduction ____ *5*

1.1 Buts du travail ____ **6**

1.2 Volonté personnelle ____ **7**

2 Présentation de la société RDC-Environment ____ *8*

2.1 Les domaines d'activité ____ **8**

2.1.1 L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) ____ 8
2.1.2 End-of-Life Management (ELM) ____ 9
2.1.3 Gestion stratégique des déchets ____ 9
2.1.4 Etude d'Incidences sur l'Environnement (EIE) ____ 9
2.1.5 Etudes de faisabilité sur le plan technique, économique et environnemental ____ 9
2.1.6 Engineering des procédés ____ 9

2.2 Les attentes de la société ____ **10**

2.3 Les attentes face au stage ____ **10**

3 Cadre du travail – Bases conceptuelles ____ *11*

3.1 Les caractéristiques et attentes de l'industrie papetière ____ **11**

3.2 Les connaissances actuelles ____ **13**

3.3 Stratégie théorique d'approche de l'étude ____ **15**

3.3.1 Paramètres influençant les impacts environnementaux dus à l'impression ____ 19
3.3.1.1 Le mode de production des encres ____ 20
3.3.1.2 Le mode de stockage de l'encre ____ 20
3.3.1.3 Le recyclage des cartouches ____ 21
3.3.1.4 Les « habitudes d'impression » ____ 21
3.3.1.5 Le taux de couverture ____ 21
3.3.1.6 La limitation des impressions recto verso ____ 22
3.3.1.7 Les facteurs influençant le choix de matériel d'impression ____ 22
3.3.1.8 Les facteurs périphériques ____ 23
3.3.2 Paramètres influençant les impacts environnementaux selon la qualité du papier ____ 23
3.3.3 Paramètres influençant les impacts environnementaux liés à la fin de vie du vieux papier (i.e. déchets de recyclage) ____ 24
3.3.3.1 L'incinération ____ 25
3.3.3.2 La mise en C.E.T (Centre d'Enfouissement Technique) ____ 25
3.3.3.3 La réutilisation ou la valorisation ____ 25
3.3.3.3.1 L'épandage ____ 25
3.3.3.3.2 Le compostage ____ 26
3.3.3.3.3 La digestion anaérobie ____ 26
3.3.3.3.4 Les matériaux de construction ____ 26
3.3.3.3.5 La conversion en carburant ____ 26
3.3.3.3.6 La pyrolyse ____ 27
3.3.3.3.7 Autre applications ____ 27
3.3.3.4 Stratégie de gestion des déchets ____ 27

3.4 Statut du papier recyclé ____ **27**

3.4.1 Les limites du recyclage ____ 28
3.4.2 Le papier recyclé de "haute qualité" ____ 29

3.5 Les encres ____ **29**

3.6 Les technologies d'impression ____ **30**

3.7 L'attribution du label écologique communautaire au papier à copier et au papier graphique ____ **30**

3.8 Le livre vert sur la politique intégrée des produits 31

3.9 Les impacts économiques et sociaux du secteur de l'impression S.O.H.O. 32

4 Analyse de Cycle de Vie Comparative des encres noires et couleurs employées pour l'impression S.O.H.O du papier à copier en Europe 34

4.1 Description théorique de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) 34

4.1.1 Définition des objectifs 34
4.1.1.1 Buts du travail 34
4.1.1.2 Frontières du système étudié 34
4.1.1.3 Limites temporelles 34
4.1.1.4 Limites géographiques 35
4.1.1.5 Exclusion de certaines opérations 35
4.1.2 Inventaire du Cycle de Vie (ICV) 35
4.1.2.1 Définition du cadre de travail 35
4.1.2.2 Collecte des données 35
4.1.3 Modélisation 36
4.1.3.1 Analyse des résultats 36
4.1.3.2 Interprétation des résultats 36
4.1.4 Evaluation des impacts sur l'environnement 36
4.1.5 Recherche d'améliorations 36
4.1.6 Conclusions et recommandations 36

4.2 Application 37

4.2.1 Buts du travail 37
4.2.2 Frontières et limites du système étudié 37
4.2.3 Inventaire de Cycle de Vie (ICV) 39
4.2.3.1 Définition du cadre du travail 39
4.2.3.2 Collecte des données 40
4.2.3.2.1 Les données fiables 40
4.2.3.2.2 Les données peu fiables 42
4.2.3.2.3 Les données très peu fiables 44
4.2.4 Modélisation 45
4.2.5 Analyse des résultats 50
4.2.5.1 Analyse des résultats globaux 50
4.2.5.2 Analyse des résultats spécifiques à chaque mode d'impression 62
4.2.6 Interprétation des résultats 70
4.2.6.1 Interprétation des résultats globaux 70
4.2.6.1.1 Impacts environnementaux produits par l'acidification de l'air 70
4.2.6.1.2 Impacts environnementaux produits par les gaz à effet de serre 71
4.2.6.1.3 Impacts environnementaux produits par la consommation d'énergie 71
4.2.6.1.4 Impacts environnementaux produits par la production de déchets 71
4.2.6.1.5 Impacts environnementaux déterminés par l'analyse des coûts totaux externes 72
4.2.6.2 Interprétation des résultats spécifiques à chaque mode d'impression 72
4.2.7 Evaluation des impacts sur l'environnement 74
4.2.8 Pistes d'améliorations 78

5 Conclusions et recommandations 80

6 References 85

7 Glossaire 88

8 Annexes 89

I Introduction

La protection de la qualité de l'environnement, du milieu dans lequel nous vivons, constitue l'une des responsabilités qui incombe à chacun d'entre nous. C'est une obligation morale que nous avons envers les générations futures. La terre n'est pas un héritage mais un prêt virtuel que nous concèdent les générations à venir, il serait irresponsable de la traiter comme s'il s'agissait de notre "usufruit de l'histoire"!

L'enjeu est fondamental pour l'avenir de l'humanité puisque la réussite, ou l'échec de "notre" gestion des problèmes liés à la protection de l'environnement conditionnera très certainement tant le mode que la qualité et le potentiel de vie des êtres vivants qui vont nous succéder.

Un rapide survol de l'histoire de l'humanité montre que de nombreux facteurs de nature écologique, ainsi que des transformations résultant de l'activité humaine, ont affecté significativement notre planète, et ce principalement depuis quelques décennies. Il est intéressant d'essayer de comprendre les fondements et les conséquences de ces modifications de façon à ne pas répéter les erreurs de l'histoire! Dans une optique anthropocentrique, cela revient à analyser les relations entre l'environnement et les sociétés humaines, des prémisses de la prise de conscience des problèmes liés aux pollutions, qu'elles soient d'origine urbaine, industrielle ou naturelle, à l' « environnementalisme contemporain », voire l'extrémisme pour certains!

Depuis quelques années enfin, l'éveil de nos populations à la nécessité de protéger notre planète s'est considérablement accru. Mouvement de mode, besoin de retour aux sources de notre société ou réveil de populations trop longtemps aveuglées par des fumées, image des besoins en pleine ascension, dans un monde industrialisé, matérialisé? Sans doute chacune de ces raisons a-t-elle apporté sa pierre à l'édifice d'une société mondiale davantage à l'écoute de son environnement.

En 2002, le Sommet mondial sur le développement durable qui s'est tenu à Johannesbourg a montré que dix ans après le Conférence de Rio, la volonté de relever les défis du développement durable existe et va grandissant. Les moyens mis en œuvre restent modestes certes, mais cette évolution est le reflet d'une volonté de changement dans la gestion, le traitement, et la protection de nos ressources.

Il existe actuellement une tendance, un (r)éveil, un mouvement « vert » qui, lentement mais sûrement, émerge. Les populations se prennent de plus en plus en charge : « on » trie ses poubelles, « on » ne brûle plus tout et n'importe quoi, « on » prétend faire des achats responsables ou même être interpellé par des problèmes qui ne nous touchent pas directement, et bien d'autres choses encore, … mais est-ce assez? Répondre à cette question est extrêmement difficile, voire impossible! On soulignera cependant que les politiques mises en œuvre en Europe ont effectivement permis d'enrayer la croissance exponentielle de certaines pollutions spécifiques telles que l'effet de serre, l'acidification de l'air troposphérique, le phénomène d'eutrophisation (parfois aussi appelée eutrophication lorsque la pollution est d'origine humaine), etc. La liste est longue! La tâche est cependant loin d'être terminée. L'amélioration des taux de recyclage, de réutilisation, de mise en décharge des papiers, cartons, métaux, plastiques etc. démontrent que notre société est encore et toujours grande consommatrice de ressources, majoritairement non renouvelables.

Il est donc nécessaire de consommer (ou de vivre!) différemment, de façon plus rationnelle. La technologie peut, par son développement, amener à rendre l'industrie plus respectueuse de l'environnement, le recyclage et la réutilisation plus performants. Malheureusement la recherche et le développement impliquent un partenariat fort et dynamique entre l'ensemble des acteurs de la société : consommateurs, industriels et pouvoirs publics. Or, les objectifs de ces « intervenants » ne sont pas, par « nature », les mêmes! On en revient donc à la « nature profonde de l'être humain » qui place son besoin individuel bien avant les besoins de tous … les Hommes!

Les interconnexions multiples des problèmes liés à l'environnement reflètent la complexité du concept de développement durable. Si l'on ajoute au facteur « environnement » les facteurs sociaux et économiques, on aboutit rapidement à la conclusion que les décisions, les choix ne sont guère aisés à prendre. Effectivement, ce qui s'avère bénéfique pour l'environnement peut, et c'est malheureusement souvent le cas, s'avérer néfaste pour le social et/ou l'économique. Le « social » est, c'est bien connu, l'argument, parfois la menace, brandi par les investisseurs lorsque de nouvelles contraintes de nature environnementales sont votées par le législateur. Le respect de notre planète, de l'environnement, notion anthropocentrique réflexion faite, ne doit absolument pas primer sur le « social ». Il est fondamental de ne pas tomber dans l'extrémisme naturaliste qui, de nature dogmatique par définition, perd toute objectivité.

C'est sous cet angle que doit être abordé le concept de développement durable, comme étant l'optimalisation des différentes caractéristiques de notre société (le social, l'environnemental et l'économique). Il s'agit d'un compromis, un délicat dosage entre ces trois composantes. Ce concept, on pourrait l'imager par une « balance à trois plateaux » où la position de l'un des plateaux affecte la position des deux autres. Le biais induit par cette image se situant dans le fait que l'importance donnée à chacun des paramètres varie d'un individu à l'autre, et non selon la gravité… que la nature a ironiquement choisi comme quasi constante! En effet, le « poids » à donner, à l'économie par exemple, reste avant tout un choix personnel, et par conséquent subjectif. Le développement durable, c'est l'optimalisation du compromis!

Actuellement, l'analyse et la paramétrisation de ces facteurs sont effectuées par un outil mathématique appelé l'Analyse Multicritère. C'est une balance à trois plateaux sous forme informatique! Cela permet de mettre en avant les diverses solutions « acceptables » selon une pondération faite sur base des critères de chacun.

Si l'on regarde notre monde sous l'angle du concept de développement durable, se posent rapidement une infinité de questions concernant les choix judicieux qui devraient être pris pour que la qualité de vie de chacun soit prise en compte. Malheureusement, la théorie se heurte bien vite à la pratique étant donné que :

- les connaissances scientifiques souffrent d'un manque évident de données précises. Les réponses aux questions liées aux problèmes environnementaux sont soit inexistantes, soit partielles mais rarement complètes et utilisables!
- dans les cas où les études ont pu être menées à terme, la mise en œuvre de ses conclusions n'est pas toujours possible (coût, faisabilité, résistance des lobbies, etc.).
- les conclusions d'une étude (Analyse de Cycle de Vie, Eco-bilan, Etude d'Incidence sur l'Environnement etc.) ne donnent quasi jamais de réponse type « blanc ou noir », mais plutôt les directions vers lesquelles les choix devraient se tourner. Selon les intérêts des uns et des autres, la lecture des conclusions de l'étude risque de changer … et les actions de ne pas être entreprises!

1.1 Buts du travail

L'idée qui sous-tend ce Travail de Fin d'Etude est que, parmi l'ensemble des domaines qui souffrent de lacunes de connaissance de leurs incidences environnementales, on retrouve le « monde de l'impression ». Non pas l'imprimerie industrielle, mais bien l'impression effectuée par tout un chacun, chez soi, ou au bureau, c'est-à-dire celle qui nous touche directement, et pour laquelle nous avons l'opportunité de faire un choix et donc d'agir effectivement.

Depuis quelques années l'impression couleur tend à supplanter l'impression noir et blanc. Les types d'imprimantes à jet d'encre, laser ou les copieurs évoluent tout autant que les encres qu'ils utilisent, et il en va de même de la qualité du papier imprimé. Il s'agit donc d'un secteur en pleine mutation dont on ne sait toujours pas si le choix du type d'impression

(noir et blanc, ou couleur) constitue un enjeu environnemental. Faut-il freiner, encourager ou ne pas agir sur cette consommation croissante d'encres couleur? Telle est la question à laquelle ce travail tentera de répondre.

L'étude se limite à l'impression domestique et de bureau. Ne sera considérée par conséquent que l'impression laser, copieur et à jet d'encre, effectuée par une imprimante ou un copieur, sur papier A4 blanc. Ce choix fût fait de sorte à pouvoir étudier les conséquences environnementales induites par l'impression choisie par « monsieur tout le monde ».

L'*impression domestique ou de bureau* est généralement dénommée *impression S.O.H.O.* – i.e. *Small Office Home Office*.

L'objectif ne sera pas d'établir l'ensemble des nuisances environnementales des diverses possibilités s'offrant à l'utilisateur avant l'impression - trop peu de données sont accessibles pour atteindre cet objectif - mais bien d'extraire les points critiques de manière à définir les décisions environnementalement judicieuses lorsqu' un choix est possible. Autrement dit, déterminer les paramètres clés pour une consommation intelligente des encres et, conséquemment des papiers et modes d'impressions.

1.2 Volonté personnelle

La volonté était de travailler sur un projet permettant ultérieurement de justifier d'une expérience professionnelle de qualité dans un domaine directement lié à l'environnement tout en mettant à profit l'opportunité d'apporter une pierre, aussi petite soit-elle, à l'édifice des connaissances environnementales. Dans cette optique, effectuer une Analyse de Cycle de Vie s'imposa comme une solution recouvrant l'ensemble de ces desideratas. Egalement, s'ajouta le désir d'acquérir des connaissances dans des domaines industriels qui m'étaient totalement inconnus : la production d'encre, de papier et leur recyclage.

2 Présentation de la société *RDC-Environment*

Créé en 1992, *RDC-Environment* (Research Development & Consulting-Environnement) est un bureau belge de conseil et d'étude qui offre une solution novatrice et de qualité aux entreprises ou institutions publiques qui rencontrent des problèmes liés à l'environnement. *RDC-Environment* est composé de 6 ingénieurs dont la principale vocation est la résolution de problèmes environnementaux nécessitant une approche totalement nouvelle.

Les principaux domaines de compétence de la société sont les études sur l'air, les déchets, l'énergie et l'eau. Cependant, une collaboration avec d'autres partenaires tels que les universités et les centres de recherches permet à la société d'aborder d'autres domaines.

La résolution de problèmes environnementaux se fait généralement de manière indépendante et totalement sur mesure. En effet, dans la majorité des cas, une étude extrêmement spécialisée est nécessaire et ne correspond à aucune autre étude antérieure.

2.1 Les domaines d'activité

RDC-Environment est particulièrement spécialisé dans les domaines d'activités suivants :

1. Life Cycle Assesment (LCA)
2. End-of-life Management (ELM)
3. Gestion stratégique des déchets
4. Etude d'incidence sur l'environnement
5. Etudes de faisabilité sur le plan technique, économique et environnemental
6. Engineering des procédés

2.1.1 L'Analyse du Cycle de Vie (ACV)

Cette analyse est primordiale pour déterminer les impacts environnementaux des produits, des procédés et des systèmes. C'est l'outil décisionnel le plus objectif actuellement pour les études environnementales.

Elle consiste en une collecte ou une recherche de données dont le traitement (vérifications, calculs, itérations, etc.) permettra par la suite de quantifier et/ou de qualifier les différents impacts environnementaux.

L'analyse de cycle de vie est très souvent utilisée soit lorsque les entreprises veulent prendre des décisions stratégiques, soit comme outil pour l'Eco design.

RDC-Environment a mis au point un logiciel très performant : "*RANGE LCA*". Ce logiciel est utilisé lors d'analyses de cycle de vie; il permet de déterminer, à partir des différents paramètres considérés, l'ensemble des valeurs des impacts environnementaux. Donc, de définir, principalement dans des études complexes, l'ensemble des cas possibles (ou plus exactement mille résultats) choisis selon un programme aléatoire. Ce logiciel facilite la mise en évidence des impacts dus aux produits, aux procédés ou aux systèmes étudiés. En effet, il permet la prise en compte des interactions entre paramètres. Il est important de souligner que ce logiciel "*RANGE LCA*", grâce une très grande vitesse de calcul, permet l'obtention des résultats du cas étudié quasiment instantanément. Cet avantage pratique s'avère extrêmement utile lorsque de multiples

hypothèses existent. Il s'agit par conséquent d'un outil pratique, efficace, et d'une grande flexibilité qui sera certainement « vulgarisé » dans le futur pour les études de ce type.

2.1.2 End-of-Life Management (ELM)

L'évolution des législations a abouti à ce que dans de nombreux secteurs industriels le producteur devienne responsable de l'élimination des déchets qu'il produit. Il est par conséquent incontournable pour l'industrie de posséder une bonne stratégie de "gestion de fin de vie" (ou End-of-Life Management).

RDC-Environment développe une stratégie ELM adaptée à la problématique des déchets et effluents. Cette stratégie prend en compte le coût environnemental et économique minimal et permet de développer une image positive de l'entreprise.

RDC-Environment vient donc en aide aux entreprises afin de diminuer leurs dépenses en améliorant leur "product design" jusqu'à l'obtention d'un déchet qui soit facile à traiter.

2.1.3 Gestion stratégique des déchets

RDC-Environment réalise des analyses détaillées des différentes techniques de prévention, de collecte, de réutilisation, de tri, de recyclage, d'incinération, de compostage, etc. des déchets. Pour ce faire, sont pris en considération les aspects économiques, techniques et environnementaux.

2.1.4 Etude d'Incidences sur l'Environnement (EIE)

RDC-Environment détermine lors d'études d'incidences les impacts environnementaux qui potentiellement pourront survenir lors de la mise en œuvre de projets. Ces études ont pour but d'assurer la meilleure protection possible de l'environnement ainsi que des alentours « proches » du site d'activité considéré.

2.1.5 Etudes de faisabilité sur le plan technique, économique et environnemental

RDC-Environment intervient également avant le début d'un projet. Grâce à ces études de faisabilité, il est possible de déterminer tous les impacts directs et indirects avant même la création d'un projet. La société n'intervient dans ce cas précis qu'en tant que conseiller sur la faisabilité technique et économique du projet, tout en tenant compte des impacts environnementaux éventuels.

2.1.6 Engineering des procédés

RDC-Environment contribue au développement de solutions sur mesure pour des problèmes spécifiques de "process engineering" (ou procédé de fabrication).

Une approche scientifique du problème couplée à une expérience basée sur des principes fondamentaux et des modèles, tout en coopérant avec de nombreuses universités (ou d'autres partenaires) permet à *RDC-Environment* de trouver « la » solution aux difficultés spécifiques et propre à chaque entreprise.

2.2 Les attentes de la société

RDC-Environment est l'un des pionniers en matière d'analyse du cycle de vie en Belgique. La création de ce logiciel (Range LCA) a permis de confirmer cette position « avant-gardiste ». Cependant, pour se faire connaître, ce logiciel doit impérativement être présenté aux entités susceptibles d'utiliser les services de la société. Le développement « marketing » du produit semble donc indispensable pour obtenir le succès tant souhaité.

Pour l'année 2003, *RDC-Environment* désir accentuer les études d'incidence en région Wallonne ainsi que le développement et la mise en place d'audits dans différentes entreprises, principalement en ce qui concerne l'énergie et le traitement des déchets.

On notera pour terminer que la multiplication d'études de type "analyse coûts / bénéfices" constitue également un espoir de marché pour la société.

2.3 Les attentes face au stage

Dans une optique d'optimalisation des acquis résultant du suivi de la formation en Gestion de l'Environnement de l'IGEAT (Diplôme d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement de l'Institut de Gestion de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire) à l'Université Libre de Bruxelles (ULB), l'utilisation de l'opportunité de rapprochement avec le monde professionnel y lié constituait une aubaine qu'il eût été fâcheux de manquer. Les compétences personnelles et l'expérience professionnelle deviennent sur le marché du travail des critères décisifs dans l'octroi d'un emploi. Travailler sur un projet permettant ultérieurement de justifier une expérience professionnelle de qualité, dans un domaine directement lié à l'environnement, constitue une approche pragmatique qui maximalise les chances d'acquisition d'un emploi au profil souhaité.

Pratiquement, la lettre de motivation envoyée à la société *RDC-Environment* et définissant les attentes face au stage, établissait clairement qu' *« il s'agit pour le stagiaire de s'intégrer dans une équipe tout en démontrant une capacité certaine d'autonomie de travail. Par conséquent tant le bureau d'études que le stagiaire tireront parti de cette symbiose, (…) ».*

3 Cadre du travail – Bases conceptuelles

3.1 Les caractéristiques et attentes de l'industrie papetière

La consommation de papier imprimé est en augmentation croissante depuis des décennies. Son recyclage s'est également très développé. Il s'agit donc d'un marché traditionnel, bien installé. Mais depuis quelques années, l'impression des documents en couleur a crû très fortement. L'actuelle pénurie de vieux papiers inquiète l'industrie papetière. La récupération n'est en augmentation que de 1.3 % par an depuis 1980. La principale ressource mal exploitée est le domaine S.O.H.O. Il faut donc améliorer la récolte de vieux papiers, mais aussi leur traitement afin de ne pas dégrader la qualité du papier produit. Dans une optique de développement durable, les autorités publiques, les producteurs et surtout les recycleurs de papier se demandent quelle pourrait être l'influence de cette évolution sur les procédés de récupération et de recyclage, et s'il faut le cas échéant, l'encourager, la décourager ou simplement la laisser continuer sans chercher à l'influencer. Il est donc très intéressant de déterminer l'influence du choix des encres utilisées pour l'impression sur l'environnement, à la fois pour la production des encres, leur effet sur l'impression (ou à l'inverse le choix de leur constitution selon l'impression), le recyclage (désencrage), l'incinération ou les diverses méthodes de valorisation et la mise en centre d'enfouissement technique (CET).

Actuellement en Europe, les taux de recyclage des papiers et cartons, et des papiers récupérés comme matière première pour la production, sont respectivement de 51,2% et 42 % (données CEPI pour 2001 [1]) [annexe 1]. Ces valeurs sont directement liées à la qualité du papier mis en œuvre, et par conséquent à la teneur en encre ainsi qu'à la composition de celle-ci. On peut en conclure que selon qu'il s'agisse d'une impression noir et blanc ou couleur, les impacts sur le recyclage sont variables. L'apparition de nouvelles encres sur le marché (certaines particulièrement difficiles à traiter lors du désencrage) ainsi que la croissance exponentielle des impressions couleur mettent à jour des problèmes naissants. Une meilleure connaissance est nécessaire pour guider le marché.

L'industrie papetière s'est fixée comme objectif d'atteindre un taux de recyclage de 56% pour 2005. Cet engagement est inscrit dans la Déclaration Européenne sur la Valorisation des Papiers et Cartons (the European Declaration on Paper Recovery) [annexe 2]. Cette déclaration fût signée par le CEPI (the Confederation of European Paper Industry), l'ERPA (the European Recovered Paper Association), et la FEFCO (the European Federation of Corrugated Board Manufacturers). Ces signataires se sont engagés à :

- *réduire la production de déchets tout au long du cycle de vie des papiers et cartons ;*
- *améliorer l'usage efficace des matières premières secondaires et annexes ;*
- *optimiser les systèmes de collecte en partageant leur expertise avec ceux qui sont responsables de la collecte des papiers et cartons récupérés à fin de recyclage ;*
- *améliorer, du point de vue technique, opérationnel et en termes d'impact environnemental, les solutions en stimulant et soutenant la recherche et le développement ;*
- *mieux sensibiliser les consommateurs au recyclage des papiers et cartons en les informant sur leur rôle dans la boucle du papier ;*
- *enfin, les Signataires acceptent de prendre les mesures nécessaires pour assurer qu'en 2005, au moins 56% des produits papiers et cartons consommés en Europe seraient recyclés.*

Lors de la recherche et du développement de nouveaux modes d'impression ou de nouvelles encres, de nombreux facteurs liés de près ou de loin à l'environnement ne sont pas considérés. L'arrivée sur le marché d'encre non ou difficilement désencrables en sont un bel exemple. Heureusement, certaines organisations telles que l'INGEDE (Internationale Forschungsgemeinschaft Deinking-Technik e.V. ou International Association of the Deinking Industry), le PTS (Papiertechnische Stiftung ou Foundation of Paper Technology), ou le CTP (Centre Technique du Papier) établissent des programmes de

recherche et de développement de produits et procédés d'impression plus respectueux de l'environnement et de la gestion de fin de vie du papier imprimé. Ces fédérations (ou confédérations lorsqu'elles s'allient) ont notamment pour objectif de permettre d'optimaliser la mise sur les marchés des vieux papiers afin que les industries qui les soutiennent puissent les utiliser comme matière première secondaire. Le grand nombre de projets de recherche, ne fut ce que pour les années 2000 à 2003, démontre l'importance tant des moyens mis en oeuvre que des retombées économiques probables selon l'orientation que prendront ces marchés dans un futur proche. De multiples publications soulignent que le recyclage du papier risque de se retouver ralenti par l'utilisation croissante d'encres qui, après impression, ne sont pas désencrables. Cette évolution restreint fortement les options de récupération des fibres de cellulose pour la production d'un papier recyclé de qualité [annexes 3 à 7].

Le FIPP (International federation of Periodical Press) et le FAEP (European Federation of Magazine Publishers) ont publiés en commun un manuel sur les magazines et l'environnement [2]. Celui-ci met notamment en exergue la nécessité :

- d'établir une "responsabilité collective" de l'ensemble des industries liées de près ou de loin à la gestion des vieux papiers ;
- de développer de nouvelles technologies plus efficaces dans le traitement des vieux papiers ;
- d'informer et d'éduquer le public sur l'existence de différentes qualités de papiers ;
- de récupérer les papiers de bureau de haute qualité ;
- etc.

L'opinion exprimée par le CEPI à ce sujet est similaire. Le point de vue de l'industrie papetière européenne s'est exprimée à travers un document récemment publié : "Strategy on recycling : the paper industry's point of view" [3]. Ce rapport considère que *"nous entrons actuellement dans une ère où la disponibilité des vieux papiers, et non la capacité de recyclage, est devenue le facteur limitant du recyclage papier en europe"*. Parmi l'ensemble des propositions faites, on citera :

- la reconnaissance du vieux papier comme matière première secondaire, et non comme déchet,
- l'encouragement de collectes séparées des papiers, selon leur qualité,
- la promotion du recyclage avant l'incinération ou la biométhanisation,
- etc.

Pratiquement, il semble que l'une des pistes privilégiées serait l'obligation pour les vendeurs de fournir un certain nombre de données concernant la qualité du vieux papier. Ces informations devront être échangées avant le pulpage de celui-ci de sorte que les vieux papiers ne possédant pas la qualité requise ne seront pas retenus et, par conséquent, pas employés comme matière première secondaire [annexe 8]. Cette mesure, si elle devait être appliquée, devrait contraindre l'ensemble des intervenants du secteur à considérer tous les paramètres impliqués dans la bonne recyclabilité du papier et, sans doute, le désencrage en particulier. On remarquera cependant que, si cette mesure peut se révéler efficace à court terme, elle ne résout pas le problème majeur que constitue la "non recyclabilité" du papier induite par l'utilisation de certaines encres et modes d'impression.

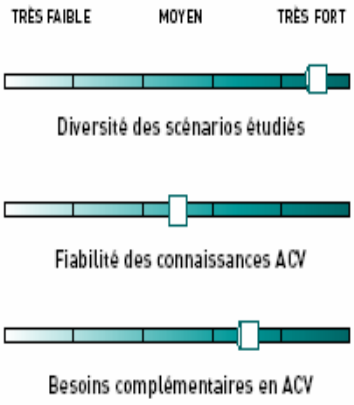
En conclusion, le marché européen cherche de plus en plus à se procurer des vieux papiers pour diverses raisons. Premièrement, la législation européenne impose des taux de recyclage papier, rendant le recyclage papier obligatoire et non optionnel comme ce fut longtemps le cas. Deuxièmement, la fibre recyclée est plus rentable que la fibre vierge, même si un pourcentage minimum de fibres vierges doit entrer dans la composition du papier afin d'en assurer les propriétés mécaniques. Cette augmentation de la demande de vieux papiers induit les conséquences suivantes :

- La qualité du vieux papier diminue et les quantités d'impuretés (autocollants, étiquettes, etc.) augmentent. Il s'agit d'une conséquence logique de l'augmentation du taux de collecte puisque les quantités et qualités restantes sont inférieures.

- L'inspection manuelle du "niveau" de qualité du papier ne garantit plus d'atteindre la qualité requise.
- Les équipements automatiques de tri deviennent absolument nécessaires afin de garantir un niveau à la fois bas et constant d'impuretés avant la production du papier (de nouvelles installations de tri sont actuellement en développement).
- La recherche et le développement des technologies de désencrage existent, mais sont en retard par rapport à la consommation présente du marché.
- Une collaboration entre les producteurs d'encre et de papier doit impérativement être établie à court terme si l'on désire assurer la stabilité de ces secteurs (sauf si une technologie nouvelle de désencrage efficace est découverte).

3.2 Les connaissances actuelles

La première étape de cette étude fut de déterminer quel était l'état des connaissances, et plus particulièrement qu'elles étaient les Analyses de Cycle de Vie déjà effectuées dans les domaines liés à la production des encres, du papier et de façon plus générale sur les modes d'impressions S.O.H.O. Force est de constater que très peu d'études se sont penchées sur ces domaines. Cependant, par chance, l'ADEME (en collaboration avec BIO Intelligence Service) a récemment dressé un état des connaissances sur les différents modes de gestion des déchets [4]. Ce bilan (international) a pour avantage de se focaliser sur les Analyses de Cycle de Vie postérieures à 1996, et de traiter le cas du recyclage des papiers à copier (cf. Tableau 1).



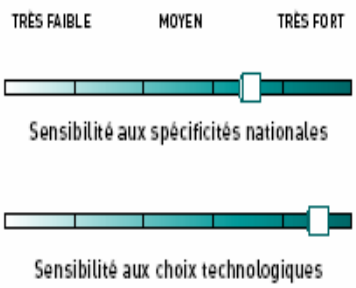
Thèmes	Indicateur	Bilan du recyclage
Ressources	énergie primaire (MJ)	bénéfice fort
	combustibles fossiles (MJ ou Tep)	bénéfice fort
	eau (m^3)	bénéfice fort
Rejets d'air	effet de serre (kg eq. CO_2)	bénéfice
	acidification de l'air (g eq. H^+)	bénéfice fort
	pollution photochimique (kg COV ou g eq. C_2H_4)	bénéfice
	particules (g)	bénéfice
Rejets eau	eutrophisation (g eq. PO_4)	bénéfice
	eau chimiquement polluée (l)	bénéfice fort
Déchets	déchets (kg)	conditionnel [1]
Homme	risque toxique (g eq. Dichlorobenzene ou g eq. As)	? (préjudice)
Ecosystèmes	risque écotoxique (g eq. Dichlorobenzene)	?

(1) Préjudice du recyclage des papiers graphiques pour les déchets toxiques et déchets de classe 1, et bénéfice pour les déchets de classe 2.

	Paramètre	Indicateurs sensibles
Paramètres influents	Taux d'utilisation de matière secondaire (quantité de vieux papiers utilisé)	tous
	Type de papier graphique fabriqué et taux de vieux papiers dans le produit fini	tous
	Devenir de la biomasse économisée (bois-énergie versus bois-matière)	tous
Paramètres non influents	Transports des matières premières non importées	aucun
Incertitude	Transports pour la collecte des vieux papiers	rejets air
	Taux de substitution de la pâte vierge par des fibres recyclées	tous ?
	Type de blanchiment (cas du papier à copier)	rejets eau ?
	Transports des matières premières importées	rejets air ?

Les filières étudiées dans les ACV :

- Recyclage des vieux papiers graphiques en : papier journal, papier supercalandré (SC) pour magazines, papier couché (LWC) pour magazines, papier à photocopier.
- Incinération avec valorisation énergétique, en UIOM ou en centrale thermique.
- Compostage des journaux magazines et papiers-cartons mêlés.



Les limites des études :

- La seule étude complète sur le sujet est représentative de la situation en Allemagne. L'approche utilisée ne permet pas d'extrapoler les résultats au contexte de la France.
- Les seules données françaises disponibles concernent le procédé de recyclage des journaux magazines en papier journal.

Titre	Date	Commanditaire	Réalisateur	Revue critique
Newsprint, A Life Cycle study : an independent assessment of the environmental benefits of recycling at Aylesford Newsprint compared with incineration	1998	Aylesford Newsprint Ltd (UK)	Ecobalance (UK)	NON
Life cycle Analysis of the Newspaper Le Monde	1998	ANRT, Le Monde, Univ. P7	Thèse de doctorat Univ. P7 (FRA)	OUI
Life Cycle Assessment for Graphical Paper	2000	Agence Fédérale de l'Environnement (UBA) (ALL)	IFEU + BaWO + IFU + INFU (ALL)	OUI
Base de données ACV du logiciel WISARD (module Journaux-magazines)	2001	Eco-Emballages (France)	Ecobilan SA (FRA)	OUI
Analyse environnementale de systèmes de gestion de déchets ménagers	2001	Eco-Emballages et ADEME	EIO Intelligence Service + Ecobilan SA (FRA)	NON

Tableau 1 : Bilan global des ACV effectuées sur le papier graphique depuis 1996 (Document ADEME).

Les deux Analyses de Cycle de Vie effectivement utilisables pour cette étude-ci sont :

- Le "Life Cycle Analysis of the Newspaper Le Monde" et,
- Le "Streamlined LCA of Soy-Based Ink Printing".

Malheureusement ces deux études sont basées sur des hypothèses et traitent d'encres qui ne permettent qu'une utilisation très réduite des données qu'elles fournissent. Certaines informations, concernant des Inventaires de Cycle de Vie, furent cependant reprises dans ce travail, mais induisent le désavantage d'en limiter les conclusions (cf. supra).

Pour l'étude générale de l'impression S.O.H.O et les techniques de désencrage, des publications spécifiques furent prisent en considération. Elles se retrouvent dans les références, tout du moins lorsque les données qu'elles fournissent sont pertinentes vis-à-vis du sujet traité.

Une autre source de données, qui fut d'une aide fondamentale pour combler certaines lacunes de connaissances, reprend les rapports de collaborateurs du CEPI (ou d'organismes travaillant en collaboration avec celui-ci). Ces sources d'informations, à disposition chez *RDC-Environment* mais parfois confidentielles, décrivent très souvent des sujets très pointus et nous ont permis d'acquérir une vision claire des pratiques récentes de l'industrie papetière européenne.

Finalement, une recherche (CTP Project FR0200; INGEDE project CTP 83 02) en relation directe avec ce travail est actuellement en cours, mais ses conclusions ne seront pas publiées avant décembre 2004 [5]. Le projet a pour objectif de déterminer les taux de "désencrabilité" et de récupération des fibres de cellulose du papier selon l'encre et le type de papier

imprimé, la technologie d'impression et le procédé de désencrage mis en oeuvre. Les résultats de cette recherche, même partiels, auraient permis l'obtention de conclusions beaucoup plus précises. Malheureusement, le Centre Technique du Papier (CTP) n'a pas désiré coopérer dans l'élaboration de ce rapport et ce malgré nos demandes diplomatiques et promesses de confidentialité. Le manque de collaboration des différents acteurs des secteurs de l'impression constitue certainement l'une des raisons principales à la situation de "pré-crise" du recyclage du vieux papier que dénonce le CEPI. Malgré une industrie (fabricants de papier, d'encre, d'imprimante) se proclamant interpellée - pour des raisons majoritairement environnementales - ce secteur reste un fervent défenseur de la notion de confidentialité!

3.3 Stratégie théorique d'approche de l'étude

Une Analyse de Cycle de Vie, qu'elle soit comparative ou non, nécessite l'acquisition d'une kyrielle de données, de prises de mesure sur les différents sites de production, de travaux de recherche approfondis tant sur les dernières technologies que sur les pratiques industrielles, ainsi que la maîtrise de l'ensemble des paramètres nécessaires à la description objective d'un produit ou d'un procédé. Son aboutissement est donc la résultante d'une étude longue, sérieuse et rigoureuse.

Dans le cadre d'une approche pragmatique et réaliste, il était donc nécessaire de considérer les éléments limitants qui empêcheraient raisonnablement cette étude de constituer une « véritable » Analyse de Cycle de Vie telle que décrite et définie dans la littérature (cf. § 4.1). Des facteurs tels que le temps, le manque de moyens financiers, le manque d'expérience, l'adaptation au milieu et le temps nécessaire pour les prises de contact nous ont amené à réajuster considérablement les prétentions affichées lors du début du travail… Les hypothèses initiales considéraient l'ensemble des paramètres (procédés, produits, utilisations, etc.) pouvant induire un impact environnemental comme étant les suivants :

1. la production d'encre (noire ou couleur)
2. la production des cartouches d'encre
3. la production de papier à copier
4. l'utilisation de l'imprimante (deskjet, laser ou copieur)
5. le mode de stockage de l'encre (cartouches à usage unique, re-remplies ou réutilisée)
6. le choix d'impression selon la spécificité du papier utilisé (c'est-à-dire les habitudes d'impression)
7. la consommation de l'encre d'impression bureau
8. le recyclage du papier et de l'encre
9. le recyclage des cartouches (encre noire ou couleur)
10. l'incinération du papier, des encres et des cartouches
11. la mise en décharge du papier, des encres et des cartouches.

Les impacts environnementaux directs dus aux encres (émission de solvants, métaux lourds, etc.), tout comme les indirects (réduction du taux de recyclage des fibres de cellulose, augmentation de la consommation énergétique, etc.) sont à considérer et à analyser. De plus un panel représentatif des différentes techniques de recyclage du papier devra être exploré dans le but de déterminer les technologies les plus efficaces et les plus respectueuses de l'environnement en fonction des constituants du papier et de l'encre.

Si l'on désire établir les conséquences liées aux différents procédés et techniques sur les impacts environnementaux induits par les encres, des nombreuses informations techniques ainsi que des données sont nécessaires. Par conséquent, afin de rassembler le maximum de connaissances spécifiques requises pour cette étude, des contacts doivent être établis avec les acteurs industriels (ou proches de l'industrie) suivants :

1. les industries de production d'encres et de cartouches :
   - encres (noires et couleurs): composition, fournisseurs des divers constituants des encres, relations entre la composition et le type d'application.
   - Cartouches : types de cartouches, composition en fonction de l'application.
   - impacts environnementaux liés à la production des encres (Inventaire de Cycle de Vie si disponible).
   - quantité de produits (rapport encre noire/couleur) vendus les 3 dernières années, ainsi que les perspectives pour les 5 années à venir.
2. les industries de production de papier à copier :
   - impacts environnementaux liés à la production de papier à copier (Inventaire de Cycle de Vie si disponible).
3. les industries de recyclage de vieux papier (dont le papier à copier):
   - impacts environnementaux liés au recyclage du vieux papier, principalement le procédé de désencrage par flottation (Inventaire de Cycle de Vie si disponible).
   - problèmes techniques liés à la composition en encre du vieux papier lors de son recyclage.
4. les industries de production des imprimantes à jet d'encre (inkjet), laser et des copieurs :
   - absorption spécifique d'une encre selon la qualité du papier imprimé.
   - consommation électrique et en encre des imprimantes.
5. l'industrie papetière européenne (représentée par le CEPI), en se basant – si possible - sur les 3 dernières années :
   - fin de vie des déchets de papier à copier (recyclage, réutilisation, valorisation - e.g. incinération -, mise en décharge – i.e. CET).
   - impacts environnementaux liés à l'incinération des boues de désencrage du vieux papier (Inventaire de Cycle de Vie si disponible).
   - Les "habitudes d'impression": influence du choix de la couleur de l'encre sur :
     - le type de papier utilisé (papier avec ou sans bois, couché ou non) ;
     - la proportion d'impression recto verso ;
     - le taux de couverture (arrière plan coloré, nombre de couleurs choisies, etc.) ;
     - la qualité de l'impression (brouillon, normale, ou haute);
     - etc.

Des hypothèses de travail ont été élaborées en fonction des données effectivement récoltées dès que l'ensemble du travail de recherche fût arrêté pour finaliser le rapport dans les temps. En travaillant de la sorte, l'étude constitue un outil véritablement utilisable, même si les hypothèses induites par les informations non obtenues la limite dans ses conclusions.

Avant toute recherche « en profondeur » sur le sujet, je me suis efforcé de déterminer l'état actuel des connaissances et travaux établis (sous forme d'ACV, de thèses de doctorat ou de rapports sur l'évolution technologique) dans les domaines directement ou indirectement liés au monde de l'imprimerie et de l'impression (cf. § 3.2). Il semble fondamental de bien définir à partir de quelle base de travail ce rapport démarre.

Il est très probable que ce type d'étude (ACV, ICV, Eco-bilan, etc.) interviendra de plus en plus dans l'évaluation des impacts environnementaux des produits imprimés. Cependant, leurs interprétations constituent une étape délicate. En effet, il est primordial d'analyser l'ensemble des différentes hypothèses retenues ainsi que le système dans lequel a été réalisée l'étude. Extrapoler la conclusion d'une étude sans avoir préalablement vérifié la compatibilité de ses hypothèses de travail constitue un biais qui mettrait à mal l'objectivité d'une étude se prétendant à caractère scientifique.

Les usines de désencrage du vieux papier comportent une succession d'étapes. Selon la qualité des papiers à désencrer, la qualité de la pâte souhaitée et l'utilisation du produit recyclé, différents procédés (opérations unitaires) seront appliqués. L'encre peut être éliminée par deux techniques : le lavage ou la flottation. Le procédé de flottation est le plus efficace et le moins consommateur d'eau, mais le choix de l'un ou l'autre est uniquement fonction de la qualité, des propriétés de la pâte désirée ainsi que du mode d'impression apposé (i.e. le type de lien chimique entre l'encre et les fibres).

Les encres utilisées pour l'impression à jet d'encre sont des encres liquides (inkjet) dont le véhicule est de l'eau. Les colorants sont donc en solution aqueuse, ces derniers étant hydrophiles, le procédé de flottation est inefficace puisqu'il ne permet pas de séparer l'encre du papier selon le principe de répulsion ionique. Les papiers imprimés à l'encre liquide ne sont donc pas - ou très peu - désencrables [6].

Au contraire, les encres solides (toners) possèdent un caractère hydrophobe suffisamment marqué pour qu'elles puissent être séparées lors du procédé de désencrage [6].

Il existe un rapport entre le taux de désencrage et le taux de recyclabilité du papier imprimé. Etant donné le procédé de flottation utilisé dans les usines de désencrage, on pensait que seule la longueur des fibres de cellulose était à considérer pour connaître le taux de récupération effectif du papier. L'étude actuellement en cours au Centre Technique du Papier (cf. infra) tendrait – selon les premiers résultats - à démontrer que les paramètres dont il faut tenir compte sont [6]:

- la formulation de l'encre ;
- le mode d'impression, et plus particulièrement la technique de fusion utilisée. Celle-ci modifie la température atteinte afin de fondre l'encre, la pression exercée sur le papier et la structure chimique de l'encre fondue lors de sa fixation sur les fibres ;
- la constitution du papier.

A l'état actuel des connaissances, aucune étude ne donne (encore) de données quantitatives sur les taux de désencrage et de récupération des fibres de cellulose en fonction du mode d'impression. Il n'est donc pas possible de différencier - avec précision - l'encre noire de l'encre couleur au niveau de leurs impacts sur le recyclage (les valeurs encodées dans l'Analyse de Cycle de Vie sont basées sur des hypothèses).

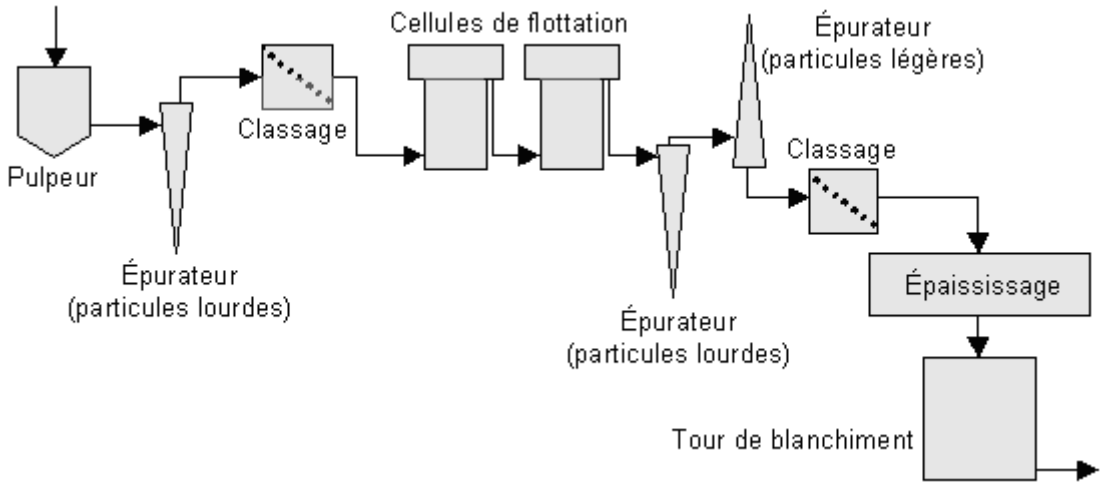
L'évolution des technologies semble assez paradoxale! En effet, les encres qui posent le plus de problèmes au désencrage viennent d'être développées et vont seulement commencer leur apparition sur le marché. Ce sont (étonnamment) des encres

noires dont les pigments, non solubles en milieu aqueux, ne sont pas désencrables car leur granulométrie est extrêmement faible! Il en résulte une teinte grisâtre du papier recyclé [7].

Contre de toute attente, ce sont les « nouvelles » encres qui perturbent les taux de recyclage du vieux papier, du moins plus encore que les anciennes. Voici un nouvel exemple de la difficulté de gérer les priorités de notre société selon que le point de vue est économique, social ou environnemental (cf. § 1).

Le recyclage du vieux papier est effectué en suivant les étapes suivantes (seules les étapes principales sont décrites):

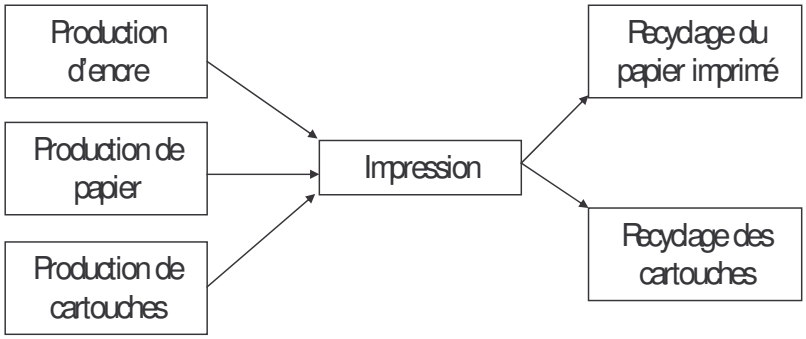
1. pulpage (ajout d'eau pour former une pulpe)
2. épuration (des particules lourdes) et classage
3. désencrage - soit par flottation (bullage d'air), soit par lavage -
4. épuration (des particules lourdes restantes et légères) et classage
5. désencrage additionnel (optionnel)
6. épaississage (la pulpe est densifiée par retrait d'eau)
7. blanchissement (optionnel)
8. gestion des eaux blanches (eaux de procédé)



Source : http://cerig.efpg.inpg.fr/ICG/Dossiers/Encres_Offset/page11.htm

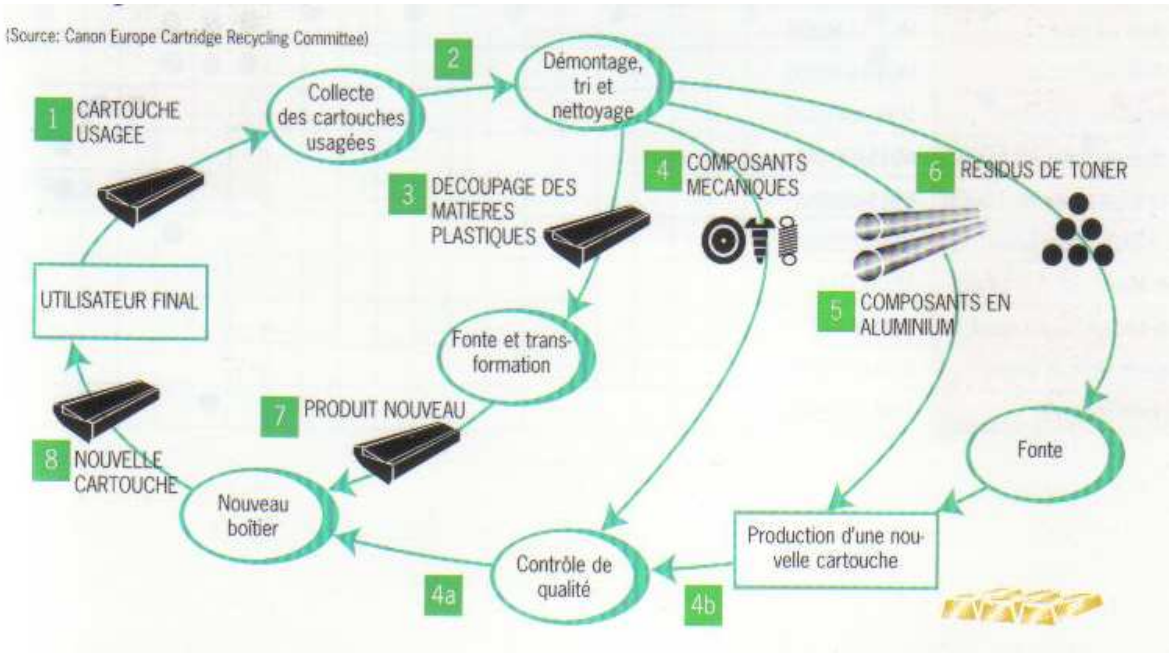
Les systèmes de désencrage modernes fonctionnent principalement par flottation. Additionnellement aux nécessités de gestion des rejets de production, de sûreté et de constance de la qualité de la pulpe produite, les facteurs économiques doivent être pris en considération pour assurer la viabilité de l'entreprise. Le rendement de récupération des fibres ne constitue qu'un des éléments à la prise de décision du procédé appliqué sur le site [8].

On peut résumer de façon simpliste les principaux procédés intervenant dans l'impression S.O.H.O. par le schéma suivant (les productions d'imprimantes et de copieurs ne sont pas considérées) :



Il sera donc nécessaire d'analyser chacun de ces procédés au niveau de leurs impacts environnementaux afin de déterminer les points critiques de l'impression S.O.H.O.

Le recyclage des cartouches est représenté par le schéma suivant (image du catalogue des consommables Canon [9]):



3.3.1 Paramètres influençant les impacts environnementaux dus à l'impression

Une cartouche d'encre d'imprimante à jet d'encre, laser ou de copieur se compose d'une tête d'impression et d'un réservoir. Etant donné l'immense quantité de types de cartouches disponibles sur le marché - leurs formes, contenances et fonctionnements varient largement -, il est impossible de déterminer une durée de vie moyenne représentative. La durée de vie de la tête d'impression est également variable selon les encres imprimées, les marques et les modèles d'imprimantes ou de copieurs. On considère généralement que les cartouches re-remplissables le sont une vingtaine de fois, mais cette valeur varie au dire des producteurs en fonction « des applications et des supports utilisés ». Par conséquent, cette valeur n'est qu'une approximation peu fiable. De plus une imprimante accepte très souvent divers modèles de cartouches et inversement une cartouche peut être utilisée par plusieurs imprimantes.

Différencier l'impression noir et blanc, et couleur en se basant sur les cartouches vendues sur le marché ou de même sur les imprimantes ne constituerait donc pas une méthodologie efficace. Les données que l'on peut se procurer via les manufacturiers, vendeurs et fournisseurs d'encre et d'imprimantes ou de copieurs sont beaucoup trop peu précises. D'autre part toutes les marques ne fournissent pas les mêmes services d'information et de partage de leurs données lorsqu'il s'agit d'en déterminer les impacts environnementaux!

En amont du recyclage, les paramètres suivants doivent être considérés si l'on désire définir l'ensemble des impacts induits par les encres sur l'environnement :

3.3.1.1 Le mode de production des encres

Les modes de production sont spécifiques aux cartouches noir et blanc, et couleur : leur composition étant différente, tant l'extraction de leurs éléments constitutifs, que les rejets de production et l'efficacité du recyclage changent. La composition des encres est un élément clé de cette étude.

3.3.1.2 Le mode de stockage de l'encre

Sur le marché européen, on répertorie plusieurs modes de stockage de l'encre (cartouches à usage unique, remplissables ou re-remplies). Leurs rendements d'impression divergent d'un procédé à l'autre. En effet, les pertes en encre sont fonction des rapports : masse d'encre utilisée/masse d'encre effectivement imprimée, et masse d'encre utilisée/cartouche. Or, ces rapports varient selon les caractéristiques des imprimantes. Les réservoirs d'encre séparés (un réservoir pour chaque couleur de base) possèdent comme avantage de permette le remplacement d'une seule couleur, indépendamment de la quantité d'encre restante dans les autres réservoirs. Tous les modèles d'imprimante ne proposent cependant pas cette option.

On peut supposer que les réservoirs d'encre séparés optimalisent la consommation des quatre couleurs de base (noir, cyan, jaune et magenta), alors que les cartouches couleur "traditionnelles" (i.e. les quatre couleurs incluses dans une cartouche unique) doivent être remplacées dès que l'une d'entre elles est épuisée. Le gain en encre peut se révéler très important en utilisant les réservoirs séparés particulièrement lorsqu'une couleur unique est privilégiée à l'impression. Dans ces termes, les pertes en encre varient selon les "habitudes d'impression" de l'utilisateur (dans le cas où celui-ci imprime en couleur). Ce qui signifie que le gaspillage est variable dans le temps puisque les choix d'impression évoluent. Ceci démontre l'importance de fixer des frontières temporelles pour une telle étude.

Le tout est de comparer l'impact environnemental et économique du contenant par rapport au contenu. Vaut-il mieux gaspiller de l'encre pour un seul contenu ou utiliser le contenu? La réponse n'est pas évidente.

On ajoutera à ces éléments que le re-remplissage des cartouches n'est pas systématiquement possible, Il est nécessaire que :

- les cartouches soient effectivement remplissables, or toutes les imprimantes ne fonctionnent pas avec ces cartouches ;
- l'on achète les recharges spécifiques à son imprimante ou du moins très similaires (il faut alors s'informer), car la composition de l'encre est fonction du mode d'impression et donc de l'imprimante.

Il faut rajouter à ces facteurs le fait que les fabricants poussent leurs clients à utiliser leur produit en "menaçant" d'une perte de qualité des tirages si le papier et la cartouche adéquats recommandés ne sont pas utilisés.

3.3.1.3 Le recyclage des cartouches

Le recyclage des cartouches d'encre, qu'il s'agisse des encres liquides ou solides d'impression S.O.H.O., ne constitue qu'un faux problème puisque actuellement celles-ci sont en grande majorité recyclées.

Les cartouches de toner ont fait leur apparition sur le marché en 1982 et leur recyclage depuis 1990. Le principe de recyclage est la reprise du produit par les entreprises qui les fabriquent. Les modalités de reprises sont variables d'une société et d'un pays à l'autre. De façon générale, le particulier est invité à renvoyer la cartouche via une enveloppe pré-timbrée vers un centre de recyclage. Par contre, les bureaux ayant souscrit à un service de maintenance rendent leurs cartouches vides au fur et à mesure de l'achat des nouvelles, selon le principe de la vidange.

Selon les données fournies par Canon, sont récupérés à partir de 100.000 cartouches de toner [9] :

- 9.600 kilos d'aluminium
- 40 tonnes de plastiques

Les parties réutilisables sont réintroduites en production (i.e. les parties mécaniques), les matières plastiques refondues (ou réutilisées) pour former de nouveaux boîtiers. L'aluminium ainsi que le toner fondu serviront pour d'autres applications.

3.3.1.4 Les « habitudes d'impression »

Le choix de l'encre, du papier et du mode d'impression complexifie énormément les données à considérer dans l'étude. Ces trois éléments sont liés, et sont fonction des "habitudes d'impression".

L'utilisation de l'encre est directement dépendante de l'imprimante ou du copieur utilisé (i.e. une encre est généralement étudiée pour une technique spécifique d'impression). La qualité du papier à imprimer sera décidée en fonction des goûts, de l'"esthétique" de l'utilisateur mais aussi de l'importance du document (de son utilisation finale).

En conclusion, le choix de l'encre (de sa couleur) peut influencer :

- l'imprimante utilisée, et donc la consommation électrique, la technologie d'impression, et les émissions de solvants (selon les constituants de l'encre et la technologie d'impression) ;
- le qualité du papier choisi, selon qu'il est ou non nécessaire d'obtenir une impression de bonne qualité ;
- la décision d'imprimer ou non en recto verso (cf. utilisation finale).

3.3.1.5 Le taux de couverture

Les taux de couverture sont généralement fournis par les fabricants pour l'impression sur format A4. Ces taux sont directement proportionnels au nombre de pages qui peuvent être produites à partir d'une seule cartouche. Pratiquement, les producteurs d'encre et de cartouches chiffrent différemment la consommation en encre de leur imprimante selon qu'il s'agisse d'encre noir ou couleur. La mesure s'effectue (généralement) sur base d'un taux de couverture de feuille de 5% pour l'encre noire et sur un taux de 30% (parfois 15% selon le fabricant) pour les encres couleurs. Un réservoir étant rempli de quatre couleurs d'impression : cyan, magenta, jaune et noir, chacune d'elle participe approximativement pour 7,5% au taux de couverture.

Puisqu'il y a une grande variabilité de consommation en encre, noire ou couleur, selon le taux de couverture, le but de l'impression et la fonction du papier imprimé seront prépondérants. En effet, une page destinée à l'archivage ne sera pas (ou rarement) imprimée sur un papier de qualité et avec une impression de grande résolution, principalement pour des raisons de coût et de temps. A l'opposé, le courrier "professionnel" par contre est souvent "bichonné" dans sa présentation. Conséquemment tant sa qualité de papier que d'impression sont choisis en fonction uniquement du résultat final. Ces impressions sont donc "coûteuses" en fibres de cellulose vierges et en quantité d'encre (souvent couleur).

Afin que ce paramètre « taux de couverture » - de tout évidence fondamental dans les impacts environnementaux induits par l'impression - soit pris en compte dans l'analyse des résultats finaux, les valeurs encodées dans l'Analyse de Cycle de Vie correspondent à des taux de couverture de 5% et 15% pour l'impression respectivement noire et couleur. Ce choix permet une étude plus objective de l'impression S.O.H.O. En travaillant de la sorte, les résultats seront analysés sous un angle de vue plus réaliste puisque la personne qui va imprimer une page produira plus ou moins de dommages à l'environnement selon ses "habitudes d'impression". Malheureusement, celles-ci peuvent être très variables - en théorie le taux de couverture est supérieur à 0% mais peut atteindre 100%. Ce taux de couverture est largement sujet à fluctuation en fonction de l'application du document à imprimer (cf. [annexe 9]). Il constitue donc l'un des « nœuds » dans les liens à considérer pour l'étude des diverses « habitudes d'impression », du moins en ce qui concerne les impacts environnementaux induits par les encres.

On notera que pour un taux de couverture identique, la consommation d'encre sera fonction du choix de la qualité d'impression. La qualité globale d'une image dépend de la taille, de la forme et de la couleur des points. Certaines imprimantes produisent des points de taille différente selon la "saturation chromatique" (i.e. le nombre de couleurs par unité de surface). Une plus grande sensibilité chromatique donne à l'image un aspect moins grenelé mais induit une plus grande quantité d'encre consommée. On constate donc que le taux effectif de couverture est également variable!

En conclusion, l'intégration du facteur "taux de couverture" est particulièrement difficile à introduire dans la comparaison des impacts environnementaux dus aux encres. On retrouve comme paramètres :

- le choix de l'encre : noire, couleur, ou les deux - déterminé par l'utilisateur - ;
- la qualité de l'impression - déterminé par l'utilisateur et le matériel d'impression.

Il se peut que lorsque le choix de la couleur est établi, cela amène l'utilisateur à imprimer des fonds « non blancs » (ce qui nécessite une grande quantité d'encre par rapport à ce qu'aurait été le taux de couverture initial!).

3.3.1.6 La limitation des impressions recto verso

Comme le temps de séchage des encres couleurs est plus long (3 couleurs doivent sécher au lieu de une), le temps de pause après impression du recto est plus long, ce qui décourage celui qui commande l'impression. Facteur auquel il faut rajouter la plus grande quantité d'encre employée, rendant l'encre plus visible par transparence sur le côté verso. Cela peut, selon les cas, constituer un frein à (la qualité d') une impression sur le verso.

3.3.1.7 Les facteurs influençant le choix de matériel d'impression

Il n'existe pas d'étude formelle existante définissant le profil des acheteurs des différentes imprimantes, encres et papiers proposés sur le marché. Cependant les sociétés travaillant dans ces domaines étudient les raisons qui poussent un futur acquéreur vers tel produit plutôt que vers tel autre.

Selon M. Frithjof Vorrath, les facteurs prépondérants à l'achat d'une imprimante sont les suivants [10]:

- L'utilisation finale du produit imprimé et donc le support d'impression qui sera utilisé
- Le coût

Les imprimantes à jet d'encre sont choisies pour leur prix compétitif et lorsque l'on désire imprimer principalement des photos. Par contre les imprimantes laser et copieurs sont achetés quand le prix de revient à la page prime. Ces informations peuvent sembler évidentes et un descriptif plus précis du marché serait souhaitable. Cependant ce sont les seules données fiables récoltées.

3.3.1.8 Les facteurs périphériques

Bien entendu il se peut que, durant l'acquisition des données, d'autres paramètres puissent être mis en exergue. Ils seraient alors insérés dans l'étude pour autant que leurs impacts ne soient pas négligeables.

3.3.2 Paramètres influençant les impacts environnementaux selon la qualité du papier

Ne seront considérés dans cette étude que les papiers recyclés ou non, imprimés en format A4. Cependant, si ce format constitue le support principal lorsqu'on imprime chez soi ou au bureau, d'autres supports d'impression sont proposés à l'utilisateur. Les gammes d'imprimantes et de copieurs permettent actuellement d'imprimer sur :

- transparents : le support ne sera évidemment pas désencré ;
- papiers photo (brillant ou non) ;
- papiers « transfert de t-shirt » : où l'impression du dessin est faite sur papier servant ensuite de support de transfert pour tissus (T-shirt, sweat-shirt, nappes, etc.). Le dessin est ensuite « décalqué » sur le tissu à l'aide d'un fer chaud ;
- papier pour bannière : l'impression sur des bandeaux ou des bannières peut se faire en continu sur 1,8 mètres (toutes les imprimantes ne permettent pas cette fonction). Cette application est limitée aux célébrations d'évènements ou aux diagrammes mais risque également de se généraliser.

Il va de soi que ces applications sont négligeables si l'on considère l'ensemble des quantités de papiers imprimés. Elles existent cependant et risquent bien de se développer étant donné leur facilité et leur caractère personnel et ludique. Cette étude ne prend pas en considération ces divers supports. Néanmoins il faut remarquer qu'un rapport ultérieur sur l'impression S.O.H.O ne pourrait peut-être pas les écarter si elles venaient à se généraliser.

En général le papier d'impression S.O.H.O est de grande qualité. Le papier est soit (cf. [annexe 10]) :

- couché ;
- non-couché ;
- couché pour photo.

Les produits vendus dans le commerce correspondent à un compromis de qualité pour obtenir de bonnes impressions tant pour les imprimantes à jet d'encre, laser ou copieurs. En effet, selon la technologie d'impression, une composition définie du papier produit une meilleure image. Ce sont ces papiers « multi usages » qui prennent la plus grande part de marché [10].

Lorsque l'on désire étudier l'impression digitale, il convient de garder à l'esprit que les choix effectués le sont en fonction de l'utilisation finale du papier. Lorsqu'un livre ou un journal est imprimé sur demande, plusieurs qualités de papier peuvent être imprimées. De même, si l'on se focalise sur le papier A4 pour l'impression S.O.H.O, il s'avère extrêmement périlleux de déterminer la qualité du support qui sera mis en œuvre [10].

Les producteurs de papier européens tentent d'influencer la consommation de manière à ce que ce soit l'impression S.O.H.O. dans le futur qui soit utilisée pour imprimer. On notera que dans cette politique d'orientation des marchés, c'est le mode d'impression qui est visé, et non son support [10].

3.3.3 Paramètres influençant les impacts environnementaux liés à la fin de vie du vieux papier (i.e. déchets de recyclage)

Les vieux papiers peuvent être collectés soit dans :

- les ordures ménagères, ils sont alors incinérés (valorisation énergétique) ou mis en décharge ;
- les collectes sélectives, ils seront alors recyclés, réutilisés ou valorisés.

Il existe un cas particulier où le particulier peut recycler lui-même ses vieux papiers : le compostage. En effet, la majorité des produits en papier sont compostables. Il suffit de mélanger le vieux papier aux déchets de cuisine afin d'obtenir un rapport C/N (carbone/azote). Ce procédé a le désavantage d'exhaler des odeurs mais permet de former un produit utilisable comme amendement pour le sol [11].

L'un des buts de ce travail est de démontrer les avantages (économiques, sociaux et environnementaux) de recycler les vieux papiers. La gestion des flux de déchets est dans ce cas focalisée sur les boues de désencrage et, plus largement sur les boues de procédé. Pour l'année 2003, les taux de récupération des vieux papiers en europe sont - approximativement- de 55% et 45%, respectivement pour les ordures ménagères et la collecte sélective [12].

Le recyclage du papier crée des déchets tout au long des étapes du procédé. Le désencrage enlève une partie de l'encre associée aux fibres, mais également une partie de ces fibres, rendant ces boues résiduelles les principales sources de déchets de la production du papier recyclé. La charge contenue dans ces boues varie selon le procédé de recyclage, la composition du vieux papier et conséquemment selon l'encre y ayant été apposée (cf. [annexe 11]). Ces boues sont majoritairement :

- incinérées avec ou sans récupération d'énergie, et avec ou sans récupération des minéraux ;
- épandues sur les terrains agricoles (mais cela ne se fait qu'en France et en Angleterre, les législations des autres pays européens l'interdisent), mais leur teneur en métaux lourds doit être faible ;
- utilisées comme couche de surface pour la fabrication de routes, ou pour couvrir les lieux d'enfouissement des déchets (pour leurs propriétés élastiques).

Les études indiquent qu'il existe un certain nombre de procédés qui constituent des options à la gestion durable des flux des boues de désencrage du papier. Ces options doivent considérer le principe de proximité et intégrer la notion de « bonne gestion des ressources » [13].

Les stratégies gouvernementales pour le développement durable sont basées sur quatre critères [13] :

1. l'utilisation prudente des ressources
2. la protection effective de l'environnement
3. le progrès social afin de rencontrer les besoins de tous
4. des niveaux hauts et stables de croissance économique et de création d'emplois

3.3.3.1 L'incinération

L'incinération des déchets devient une option de plus en plus pratiquée. L'électricité générée peut être exploitée directement sur le site de production ou revendue au fournisseur du réseau. Ce mode de valorisation des déchets ne doit cependant pas négliger certains aspects du développement durable tels que [20] :

- considérer les nouvelles options (technologies) alternatives ;
- respecter le principe de proximité ;
- améliorer ses performances ;
- combiner l'énergie sous forme de chaleur et d'électricité ;
- minimiser la pollution.

Les cendres volantes résiduelles constituent en quelque sorte le talon d'Achille de l'incinération des boues. Cette complication a été contournée par la valorisation de ces cendres dans le ciment (cf. [annexe 12]) ou le revêtement des routes.

Cependant ces flux de déchets se voient modifiés sous la pression des marchés. L'offre et la demande des boues de désencrage, susceptibles d'être incinérées dans les fours à clinker des cimenteries, suivent depuis peu une évolution qui risque d'impliquer de multiples réorientations des applications de ce « produit ».

Depuis que cette pratique a été mise en oeuvre, les cimenteries étaient payées pour le service que celles-ci rendaient en brûlant des boues considérées alors comme indésirables. Cette situation est bouleversée car ces boues ont acquis une véritable valeur marchande. Le développement de technologies de réutilisation et de recyclage amène les producteurs de papier recyclé à négocier la revente des boues de désencrage et de procédés! Les cimenteries ne font par conséquent plus de gain sur la reprise, pire encore, elles doivent parfois - selon les cas - payer pour ces déchets! Cela risque non seulement de mettre dans une situation financière critique des entreprises économiquement déjà très affaiblies, mais aussi de réorienter des boues contenant des métaux lourds vers des applications dont on ne connaît pas les impacts sur le long terme [12].

3.3.3.2 La mise en C.E.T (Centre d'Enfouissement Technique)

La mise en décharge est actuellement perçue comme une opportunité manquée et une approche non durable dans la gestion des déchets. Si dans le passé les législations traitant des déchets avaient pour but de prévenir les risques éventuels sur la santé humaine et l'environnement, ce sont dorénavant les meilleures pratiques environnementales qui prévalent. La politique du « coût minimum » afin de se débarrasser de ces boues qui était appliquée par les producteurs fut par la suite stoppée par l'établissement de taxes sur la mise en décharge. Depuis, cette option de « facilité » n'est plus la plus rentable [13].

3.3.3.3 La réutilisation ou la valorisation

3.3.3.3.1 L'épandage

Les boues solides et sèches sont majoritairement formées de fibres de cellulose et de minéraux. La récupération des composés organiques constitue l'une des options au développement durable pour autant que le code de bonnes pratiques de l'épandage des boues provenant de la production de papier soit respecté. Il est a noter que cette pratique n'est légalement applicable qu'en France et en Angleterre où des valeurs limites en métaux lourds sont établies [14].

L'épandage est permis sous les conditions suivantes [13] :

- lorsque qu'il peut être démontré que cela apporte un bénéfice agricole ou une amélioration écologique - bien que les pulpes n'apportent qu'une faible valeur en nutriments, elles augmentent le pouvoir de rétention en eau des sols et améliorent l'activité microbiologiques ainsi que la structure des sols ;
- les polluants présents ont été déterminés par les techniques analytiques appropriées - car du fait du procédé d'adsorption, les taux en métaux lourds et composés organiques persistants (dioxines, furanes, etc.) sont dix fois plus élevés dans les boues d'épandage que dans celles non encore séchées ;
- le devenir dans le sol des divers composés épandus est établi.

3.3.3.3.2 Le compostage

En l'état actuel des technologies, les boues de désencrage ne peuvent être compostées telles quelles étant donné leur constitution qui présente un rapport C/N (carbone/azote) élevé [13]. Cependant l'ajout de paille et d'écorce combiné à des engrais animaux contenant de l'azote rend le compostage efficace [15].

D'une façon générale, puisque pour la plupart des catégories de déchets ne compostent pas seules, la réussite du compostage réside dans le mélange des diverses classes de déchets, il convient d'assembler selon les critères suivants [16] :

- Les carbonés avec les azotés
- Les humides avec les secs
- Les grossiers avec les fins

3.3.3.3.3 La digestion anaérobie

La digestion anaérobie nécessite une quantité importante de matière organique qui puisse être convertie - en milieu anaérobie (i.e. sans oxygène)- en méthane (CH_4), dioxide de carbone (CO_2) et biomasse. Le développement de nouvelles technologies permet le traitement industriel de composés présentant un faible DCO (demande chimique en oxygène) [17]. Le méthane produit peut servir pour les besoins énergétiques du site et la biomasse comme amendement pour le sol. Cependant les coûts de transports sont prépondérants et peuvent rendre l'opération économiquement inintéressante [13].

3.3.3.3.4 Les matériaux de construction

L'incorporation de résidus fibreux provenant des usines des papeteries dans des ciments en améliore la solidité et la durée de vie [18]. Ce débouché, associé à la valorisation thermique, fut une option très utilisée en Allemagne et a permis de réduire les taux de mise en décharge de ces boues de 55 à 15% entre 1987 et 1994 [19].

3.3.3.3.5 La conversion en carburant

Les boues de désencrage sont converties en methyltetrahydrofurane, qui mélangé à de l'éthanol et du gaz naturel liquide, forme un carburant utilisable [21].

3.3.3.3.6 La pyrolyse

Les boues sont chauffées en milieu anaérobie et produisent des gaz, du carburant (charbon) et des cendres. Ce procédé nécessite un apport continu en matière première, les flux impliqués sont à considérer dans le choix de cette technologie (Cf. [annexe 13]).

3.3.3.3.7 Autre applications

Les possibilités de récupération des fibres et des « fillers » (kaolin, carbonate de calcium, etc.) contenus dans les boues et eaux de procédés de désencrage sont explorées. On dénombre parmi les applications envisagées :

- l'utilisation dans des blocs d'isolation (débouché commercial démontré aux Etats-Unis) ;
- le recyclage sur le site de production ;
- la valorisation des « fillers » dans des produits plastiques ou de caoutchouc.

3.3.3.4 Stratégie de gestion des déchets

La pratique de mise en décharge semble majoritairement écartée dans la gestion des déchets de l'industrie papetière. L'épandage, malgré ses avantages est sujet à une législation stricte et n'est pas applicable dans tous les pays. La recherche et le développement des autres options doivent donc se poursuivre. A court terme les solutions de remplacement sont [13]:

- les produits de construction ;
- l'incinération avec récupération d'énergie (notamment avec ajout des cendres résiduelles dans le ciment) ;
- la séparation des fibres et des « fillers » pour leur recyclage ou réutilisation ;
- la stabilisation biologique (compostage).

Pour un site de production donné, la décision de la stratégie de gestion des déchets devrait objectivement suivre les démarches suivantes [13] :

- effectuer un audit du site de production de façon à déterminer les données liées au(x) procédé(s) et aux quantités de déchets produits ;
- explorer les diverses options de façon à réduire (voire à prévenir) la création de déchets ;
- explorer les diverses options de réutilisation et de recyclage des boues à l'intérieur même du site et ;
- établir l'ensemble des meilleures pratiques environnementales qui peuvent effectivement être appliquées.

3.4 Statut du papier recyclé

La grande majorité des produits contenant des fibres de cellulose peuvent être recyclés plusieurs fois. Ce potentiel de recyclage est variable selon :

- la qualité du papier, c'est-à-dire la longueur des fibres qui le compose ;
- la composition de l'encre imprimée (l'hydrophobicité de ses constituants) ;
- le technique d'impression (variabilité de la température de fusion de l'encre et donc du lien chimique encre-fibre) ;

- les traitements précédents subits par le papier (nombre de couches de couverture, blanchissement, mode d'extraction des fibres - papier avec ou sans bois -, etc.) et ;
- les moyens mis en œuvre pour le recyclage, c'est-à-dire la technologie de recyclage utilisée.

Le papier est ainsi collecté afin de servir de « matière première secondaire ». Cependant, une quantité minimale de fibres vierges (neuves) doit impérativement être introduite lors de la production de papier recyclé pour en assurer les propriétés mécaniques.

Le vieux papier constitue la source principale de fibres pour la production de nombreuses qualités de papiers. Si l'on considère les aspects environnementaux de l'industrie papetière tels que la production de déchets ou l'augmentation croissante de la consommation de papier, il semble évident que les taux de récupération des vieux papiers devront obligatoirement suivre cette évolution, et ce partout dans le monde [22].

Il existe une multitude de qualités de vieux papiers introduits dans les procédés de recyclage des journaux, des serviettes et des papiers d'impression et d'écriture. Le choix de l'une ou de l'autre de ces qualités dépend de la qualité de la pulpe désirée, celle-ci dépendant directement du produit final. Il est donc essentiel que les contaminants (épingles, autocollants, etc.) et les encres puissent être élimés efficacement de sorte que le taux de récupération des fibres soit optimum. Malheureusement de nos jours les papiers sont imprimés par de nombreuses encres différentes, dont chacune est de composition spécifique et complexe. Les techniques de désencrage doivent donc être adaptées à la nature de l'encre, c'est-à-dire à la façon dont l'encre s'est liée à la couche de fibres [23].

Les limites du recyclage et la production de papier recyclé de « haute qualité » sont exposés sous forme de deux exemples :

3.4.1 Les limites du recyclage

L'usine de production de papier journal de Golbey (société « Norske Skog », France) utilise deux types de pâtes pour fabriquer du papier journal. La première est la pâte thermomécanique (TMP) fabriquée à partir de bois. La seconde est la pâte désencrée DIP (pour 'deinked pulp') fabriquée à partir de papiers récupérés. La proportion de pâte recyclée en 2002 était de 64%.
La production fonctionne à partir de vieux papiers issus de [24]:

- la collecte sélective (issue de la collecte des déchets recyclables auprès des ménages) et ;
- la collecte industrielle (invendus de presse).

A titre d'exemple, les encres les plus « gênantes » sont les encres à l'eau (principalement utilisées pour imprimer en flexographie) car elles sont très hydrosolubles et ne peuvent par conséquent pas être éliminées par la flottation [25]. Un papier, quelle que soit sa qualité intrinsèque, imprimé en flexographie ne pourra donc plus réintégrer le cycle de recyclage avec désencrage. Cet état de fait oblige les producteurs à sélectionner leur matière première ou à réintroduire des quantités « excessives » de fibres neuves dans leur procédé de fabrication.

La proportion d'encre dans le vieux papier est de 2% (pourcentage en masse, tous types de papier confondus). Cependant, les taux de récupération en fibres désencrées sont de 75-85 % (moyenne). Cela est partiellement dû aux « fillers » minéraux, aux adhésifs, etc. L'efficacité du recyclage est donc la résultante de nombreux facteurs (e.g. qualité du papier, mode d'impression, propriétés de l'encre, etc.). De plus, le vieillissement du papier (plus il est recyclé plus la longueur des fibres de cellulose diminue) et les conditions climatiques subies durant son cycle de vie interviennent grandement dans les taux de recyclage des fibres [26].

3.4.2 Le papier recyclé de "haute qualité"

La société "m-real" produit du papier recyclé pour ramette (A4 "copy paper"). Ce papier est recyclé à 100%, ce qui pourrait sembler étonnant puisque qu'un minimum de fibres vierges est nécessaire pour le recyclage du vieux papier. En fait, cette usine contourne cette difficulté liée aux fibres en :

1. ne recyclant que du papier sans bois (wood free) ;
2. limitant la quantité de papier couché entrant dans le procédé de fabrication à 15 % en masse.

De la sorte la pulpe blanche obtenue est de telle qualité que cela handicape sa vente! Sur le plan du marketing, le papier ne semble pas assez grisâtre, pas assez 'recyclé' pour être acheté pour ses propriétés environnementales! Il faut cependant modérer ces propos car le taux de récupération en fibres n'est que de - plus ou moins - 60%, ce qui est très bas et justifie la qualité du produit fini [27]. Malheureusement aucune donnée relative à ce procédé de recyclage "de luxe" n'a été obtenue, la société considérant ces informations comme "confidentielles".

3.5 Les encres

La composition des encres - ainsi que leurs propriétés physico-chimiques - doit impérativement être prise en compte dans l'étude du désencrage des vieux papiers et par conséquent des taux de recyclage de ceux-ci.

Les producteurs d'encre peuvent être catégorisés selon que leur production est destinée :

- au secteur de l'imprimerie industrielle ou ;
- au secteur de l'impression S.O.H.O.

Les encres industrielles sont produites en grandes quantités, il s'agit des encres :

(1) **Grasses**, utilisées dans l'impression "offset" (comprenant le 'coldset', le 'heatset', le 'sheetfed'): procédé indirect d'impression sans relief, et basé sur la polarité de ses composants.
(2) **Liquides** utilisées pour : soit la flexographie : procédé direct d'impression, fonctionnant par "tamponnage" de la rotative; soit l'héliogravure (souvent décrite sous son nom anglais : "engraving") : procédé où le cylindre est "creusé" puis raclé.

Les encres qui seront traitées dans cette étude (encres pour imprimantes et photocopieurs) seront les toners (encre en poudre, sèche) et les encres liquides. Ces encres possèdent des propriétés rhéologiques différentes de celles d'impression industrielle, donc la viscosité est supérieure (cf. [annexe 14]).

La couleur des encres solides et liquides pour l'impression S.O.H.O. provient des colorants, alors que la couleur des encres grasses et liquides pour l'imprimerie provient de pigments (dans la majorité des cas).

Les colorants sont en solution (solubilisés) dans l'encre alors que les pigments sont des particules finement broyées (granulométrie de un à deux micromètres), et en suspension dans la solution (les pigments peuvent donc sédimenter) (cf. [annexe 15]). Ces propriétés physico-chimiques seront importantes dans la compréhension des procédés de désencrage.

Les pigments sont utilisés principalement par le secteur de l'imprimerie. Les teintures sont fixées sur le papier par séchage des fibres de cellulose. Lors du procédé de teinture, l'eau est évaporée en présence de fixatifs afin de former des liens entre les fibres et les pigments.

3.6 Les technologies d'impression

Il existe de multiples technologies d'impression employées dans l'industrie et dans les bureaux. Ces technologies sont décrites dans l'annexe 16 à titre d'information, mais leur étude ne constitue pas un élément important de cette étude. En effet, ce sont les conséquences de ces modes d'impression sur le recyclage du vieux papier qui modifient le taux de récupération des fibres. L'étude a pour but de déterminer les impacts du choix des couleurs sur les impacts environnementaux en général, et non du choix de l'imprimante. Il peut cependant être intéressant de visualiser le fonctionnement de ces imprimantes pour comprendre les propriétés des encres qu'elles utilisent (cf. [annexe 17]).

Seuls les imprimantes à jet d'encre, laser et les copieurs sont effectivement utilisées dans le secteur considéré (i.e. l'impression S.O.H.O). Ce rapport ne tiendra par conséquent compte que des vieux papiers imprimés par ces modes d'impression.

3.7 L'attribution du label écologique communautaire au papier à copier et au papier graphique

La législation européenne réglemente les rejets de production de l'industrie papetière, des encres, des imprimantes etc., mais n'oblige bien entendu pas un utilisateur à imprimer selon une procédure stricte. Par contre, elle permet d'orienter les marchés, notamment en établissant des critères écologiques pour l'attribution du label écologique communautaire au papier à copier et au papier graphique [28]. On notera que la révision des critères est justifiée par l'évolution du marché, rappelant ainsi qu'il s'agit d'un secteur en pleine mutation.

Cette décision est particulièrement en « accord » avec les objectifs de ce travail-ci. On soulignera quatre éléments du texte qui permettent à la fois de cibler les facteurs essentiels pour la production d'un « papier écologique », et d'être couplés aux résultats de l'ACV.

Premièrement, la finalité des critères qui visent à :

- *réduire les rejets de substances toxiques ou eutrophisantes dans les eaux ;*
- *réduire les dommages ou les risques environnementaux liés à l'utilisation d'énergie (réchauffement planétaire, acidification, appauvrissement de la couche d'ozone, épuisement des ressources non renouvelables) en diminuant la consommation d'énergie et les émissions atmosphériques qu'elle occasionne ;*
- *réduire les dommages ou les risques environnementaux liés à l'utilisation de substances chimiques dangereuses ;*
- *appliquer les principes de la gestion durable en vue de sauvegarder les forêts.*

Deuxièmement, les critères liés aux fibres et la gestion durable des forêts :

Les fibres peuvent être constituées de fibres de bois, de fibres recyclées provenant de papier récupéré ou d'autres fibres cellulosiques. Les fibres provenant de cassés de fabrication ne sont pas considérées comme des fibres recyclées.

Au moins 10% des fibres de bois vierges provenant de forêts certifiées comme étant gérées de manière à mettre en œuvre les principes et mesures permettant de garantir la gestion durable des forêts.

Les autres fibres de bois vierges provenant de forêts gérées de manière à mettre en œuvre les principes et mesures permettant de garantir la gestion durable des forêts.

Troisièmement, les critères liés à la gestion des déchets :

Tous les sites de production de pâte et de papier doivent être dotés d'un système de traitement des déchets (tels que défini par les autorités réglementaires responsables des sites en question) et des produits résiduels issus de la fabrication du produit porteur du label écologique. La demande (…) doit obligatoirement comprendre des informations sur les points suivants :

- *procédés utilisés pour trier et employer les matériaux recyclables contenus dans les flux de déchets,*
- *procédés de récupération des matériaux destinés à d'autres fins, tels que l'incinération pour produire de la vapeur industrielle, ou à un usage agricole,*
- *procédés de traitement des déchets dangereux (tels que définis par les autorités réglementaires responsables des sites de production en question).*

Quatrièmement, les informations figurant sur l'emballage :

Le produit portera le texte suivant (ou un texte équivalent) sur l'emballage secondaire:
(…) « Collectez les vieux papiers pour les faire recycler »

3.8 Le livre vert sur la politique intégrée des produits

Comme il déjà été souligné, la consommation de papier est en augmentation croissante. C'est également le cas pour nombre de produits provoquant ainsi la plupart des pollutions et l'épuisement des ressources naturelles. Il est donc nécessaire à l'avenir d'utiliser moins de ressources et d'intégrer dès la conception d'un produit la gestion des déchets qu'il engendra, c'est-à-dire prévenir les pollutions qui lui seront imputables.

Le Livre vert sur la politique intégrée des produits (proposé par la Commission européenne) établi « *une stratégie de renforcement et de recentrage des politiques de l'environnement concernant les produits (…) visant à susciter un débat public (…) et tirant parti d'un potentiel encore inexploité pour améliorer un large éventail de produits et de services tout au long de leur cycle de vie (…) »* [29].

La complexité de l'étude de l'impression S.O.H.O. en fait un bel exemple de ce qu'une telle politique pourrait apporter à un secteur où les facteurs scientifiques (environnementaux), économiques et sociaux sont fortement interconnectés et où une décision prise sur un produit (composition, emballage, etc.) peut se répercuter à bien d'autres secteurs qui, de prime abord, pourraient sembler en être indépendant. En effet, pour exemple, la composition d'une encre, d'une feuille de papier, la température de chauffage de l'encre dans une imprimante, la décision du citoyen de participer ou non à la collecte sélective etc. ne sont que quelques paramètres intervenant dans le potentiel de recyclabilité du papier. Comme le rappelle le Livre vert : *« C'est avant tout aux entreprises et aux consommateurs qu'il appartient de relever le défi que constitue la réalisation de produits plus respectueux de l'environnement (…) ».*

L'approche choisie dans le cadre du Livre vert se base sur le cycle de vie du produit (ACV et ICV), elle porte sur tous les produits mais cible particulièrement ceux dont la marge d'amélioration est plus probante. La grande majorité des points traités dans le Livre vert se retrouvent dans la problématique de la recyclabilité du papier, notamment en ce qui concerne le partage des données. Mais plus pratiquement encore deux paragraphes précis reprennent ce qui pourrait être une solution au problème de pénurie de vieux papiers :

- *« les lignes directrices en matière de conception des produits »,* qui intègrent moult principes de réduction des déchets, des pollutions etc., mais aussi et surtout une *« conception en vue de la réutilisation et du recyclage »* ;

- *« la normalisation et « nouvelle approche » »,* qui souligne qu' *« il est hautement souhaitable que, dans un proche avenir, l'idée de « respect de l'environnement » soit également associée systématiquement aux produits satisfaisant à une norme européenne ».*

Somme toute, la bonne recyclabilité d'un produit, ici le papier, passe par la prise en compte par les producteurs d'encres et d'imprimantes des conséquences induites par leurs produits. De même, il est nécessaire que les producteurs de papier, les sociétés de collecte etc. fassent les efforts nécessaires pour une collaboration positive et profitable pour chacun. On notera que cette approche néglige la prévention de l'utilisation inutile de papier, d'encre etc., qui constitue également une piste parallèle et complémentaire, mais il s'agit ici de résoudre un problème dont la clé n'appartient pas à un seul protagoniste, mais est « disséminée » dans tout le secteur lié à l'impression. Il y a fort à parier que la mise en place, complexe certes, d'une telle politique intégrant l'ensemble facteurs intervenant dans la valeur écologique d'un produit, résoudrait et finaliserait bien des aberrations des pratiques industrielles modernes dont le recyclage du papier pourrait, sait-on jamais, être le cheval de bataille …

3.9 Les impacts économiques et sociaux du secteur de l'impression S.O.H.O.

Depuis le début du travail, des données sur les facteurs économiques et sociaux liés au secteur étudié furent recherchées, le but étant d'estimer ces facteurs en relation avec la consommation d'encre. Obtenir des données sur le nombre d'employés par unité produite ou le chiffre d'affaires par unité produite eût été utile. Malheureusement l'impression S.O.H.O. ne représente que quelques pourcents du marché du secteur de l'imprimerie [1] et aucune étude traitant de ce sujet ne fut obtenue. Par contre, bien que l'état économique et social actuel ne puisse être défini, il est possible d'évaluer comment évoluerait le marché de l'emploi si les habitudes d'impressions ou les produits mis sur le marché ou les pratiques industrielles venaient à changer. Une étude portant sur l'estimation de la création d'emploi par le recyclage et la réutilisation à Londres [30] permet d'analyser grossièrement les pertes et gains d'emplois prenant place tout au long des étapes des procédés du recyclage. L'étude se fonde sur un principe : l'augmentation nécessaire du recyclage des déchets. A partir de ce constat, elle considère que trois moyens sont potentiellement applicables pour à la fois augmenter le recyclage et réduire les quantités de déchets incinérés ou mis en CET :

- changer les pratiques des collectes afin d'augmenter la proportion de déchets revendables et recyclables (e.g. en proposant des méthodes améliorant l'implication des ménages dans ces collectes)
- changer l' « intensité » de séparation des déchets de sorte que plus de matériaux soient revendables et ne suivent plus la filière « classique » d'incinération ou de mise en CET
- changer les classes de matériaux choisis pour le recyclage en fonction de leur prix à la revente

Selon les conclusions de l'étude, l'augmentation du recyclage ferait perdre de l'emploi au niveau de l'incinération, de la mise en CET et de certains fournisseurs (i.e. de pulpe de bois, de tourbe pour composte, etc.) mais en ferait par contre gagner au niveau de la production impliquant la réutilisation des matériaux, de la production de produits innovants et de la vente de matériaux pouvant être associés à des matières premières. Les calculs de cette étude tiennent compte des emplois intervenants dans la collecte et du tri du vieux papier, des coûts de collecte et leurs impacts sur l'emploi, des emplois en amont du recyclage (i.e. du fait que moins de produits seront fabriqués) et des emplois créés par de nouvelles productions novatrices (i.e. la production de nouveaux produits). Le résultat, qui n'est qu'un indicateur puisque les hypothèses de ce travail sont fondées sur le marché londonien, donne un gain de 3,61 emplois par 1000 tonnes de papier.

Il en ressort que l'on peut raisonnablement imaginer qu'un changement des pratiques de recyclage des vieux papiers en europe puisse, en plus de ses avantages environnementaux, être bénéfique sur le plan social. En ce qui concerne l'aspect économique, rien ne permet de se prononcer sur les conséquences d'un tel bouleversement des flux de matières liées à l'impression SOHO, et ce pour de nombreuses raisons, mais avant tout parce qu'il s'agit d'un marché mondialisé où la

modification d'une pratique industrielle se répercute sur les prix, s'adapte aux législations nationales etc., en somme réoriente ces mêmes flux. Une telle analyse, de par sa complexité, constituerait une étude à part entière et serait certainement bénéfique pour une meilleure compréhension des interconnexions entre les facteurs sociaux, économiques et scientifiques qui régulent le marché de l'impression S.O.H.O.

4 Analyse de Cycle de Vie Comparative des encres noires et couleurs employées pour l'impression S.O.H.O du papier à copier en Europe

4.1 Description théorique de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV)

« L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est une méthode qui permet d'évaluer les impacts potentiels sur l'environnement d'un système comprenant l'ensemble des activités associées à un produit ou un service, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à l'élimination des déchets. Normalisée au niveau international (normes ISO 14040 à 14043), cette méthode consiste à réaliser les bilans des consommations de ressources naturelles, d'énergie et d'émissions dans l'environnement (air, eau, sol) du produit ou service étudié. Ces flux de matières et d'énergies sont ensuite agrégés pour quantifier les indicateurs d'impacts sur l'environnement » [4].

L'objectif de ce travail n'est pas d'établir un état des lieux des connaissances sur les impacts environnementaux induits par l'impression S.O.H.O, mais bien d'effectuer un Analyse de Cycle de Vie de l'impression S.O.H.O en Europe. L'utilisation de cet outil permet d'évaluer de façon objective les impacts potentiels d'un procédé, d'un produit ou d'un secteur (comme c'est le cas ici pour l'impression) sur l'environnement. L'avantage de cette technique d'analyse est de considérer l'ensemble des facteurs intervenant dans les impacts environnementaux. On parle d'analyse « du berceau à la tombe », ce qui permet de moins limiter les hypothèses et donc les conclusions de l'étude.

Une Analyse de Cycle de Vie (ACV) doit suivre une méthodologie précise. Les étapes successives sont :

4.1.1 Définition des objectifs

4.1.1.1 Buts du travail

Les objectifs de l'étude et les différentes raisons qui la justifie sont établis clairement. L'ACV peut être comparative - lorsqu'il s'agit de faire un choix entre des produits, procédés ou secteurs - ou globale. Les hypothèses de travail et la description de l'utilisation des résultats (type d'application, public cible, personnes concernées, etc.) permettront de définir l'intensité de l'étude.

4.1.1.2 Frontières du système étudié

Les frontières du système qui sera étudié sont établies. Le *système* correspond à ce que l'on étudie et *l'environnement* à ce qui sort de ce système. Cette étape aide à l'élaboration de l'arbre de procédé, schéma des procédés repris dans l'étude (extraction des matières premières, fabrication, utilisation, recyclage, etc.).

4.1.1.3 Limites temporelles

Cette limite de fixer le « cadre temporel » de l'étude. Les conclusions d'une ACV ne sont utilisables que lorsque ses hypothèses sont rencontrées, et ces dernières comprennent le moment d'acquisition des données. Des données collectées à

différentes périodes ne sont pas équivalentes. Le paramètre 'temps' prend ces déviations potentielles en considération et rappelle qu'une conclusion n'est jamais définitive.

4.1.1.4 Limites géographiques

Les législations, les pratiques industrielles, les habitudes de consommation, etc. varient selon les zones géographiques. Il s'agit donc de définir précisément les limites géographiques du système étudié.

4.1.1.5 Exclusion de certaines opérations

Le système étudié ne peut être « infini », par conséquent des simplifications doivent être élaborées. Celles-ci sont faites sous conditions (par exemple un procédé n'est pas considéré dès qu'il intervient pour moins de 1% dans les impacts environnementaux).

4.1.2 Inventaire du Cycle de Vie (ICV)

Il s'agit d'un bilan global des flux de matières et d'énergies entrants et sortants du système. Ce système est divisé en sous-systèmes dont on déterminera pour chacun l'ICV spécifique.

Une attention particulière sera prise pour l'affectation des flux en co-fonction, c'est-à-dire lorsque un sous-système remplit plusieurs fonctions. Selon la direction des flux, on parle de :

- coproduction : plusieurs sorties ;
- cotraitement : plusieurs entrés ;
- revalorisation : en boucle ouverte (diverses origines) ou en boucle fermée (à l'intérieur du site de production).

4.1.2.1 Définition du cadre de travail

Cette étape définit l'*unité fonctionnelle*, ce qui correspond à l'unité de référence de l'ACV. On veillera à ce que l'unité fonctionnelle soit bien définie (en masse, volume, nombre, etc.), mesurable, pertinente et n'induise aucun facteur biaisant.

4.1.2.2 Collecte des données

La collecte des données constitue certainement l'exercice le plus périlleux d'une ACV. L'ensemble des procédés (de l'extraction, la transformation, la production, la distribution, etc. jusqu'à l'élimination des produits) devra être identifié, suivi de la recherche des données correspondantes. Pour acquérir ces données, la recherche peut s'effectuer à l'aide de la littérature (e.g. Eco profils publiés), par contact avec les fournisseurs, par prises de mesures sur site de production, etc.

Dans un souci d'«honnêteté intellectuelle », les schémas seront dressés avant l'acquisition des données et la fiabilité de ces données déterminée.

4.1.3 Modélisation

L'utilisation de l'outil informatique est nécessaire au traitement des données, le tableur « *Excel* » étant le plus accessible. Dans ce cas-ci, ce sera le logiciel « *Range LCA* » qui sera employé.

4.1.3.1 Analyse des résultats

Le mode de présentation sera adapté selon les objectifs - préalablement définis – de l'étude. L'exposition des résultats, quelle que soit sa forme, reprendra impérativement l'inventaire des rejets dans l'air (émissions de CO_2, de NO_X, de CH_4, etc.), dans l'eau (émissions de NO_3^{2-}, PO_4^{3-}, etc.), dans le sol (métaux lourds, cycles benzéniques, etc.) ainsi que l'inventaire des déchets.

4.1.3.2 Interprétation des résultats

Le travail d'interprétation des résultats consiste à comprendre et expliciter les différents flux de matières et d'énergies, sans évaluation des impacts environnementaux.

4.1.4 Evaluation des impacts sur l'environnement

L'analyse des résultats obtenus doit tenir compte des hypothèses définies dans les ICV. Il s'agit d'objectiver les valeurs finales sans tomber dans des conclusions hâtives. L'évaluation des impacts environnementaux est une science en plein développement. Les résultats qui en découlent sont largement dépendants de la méthode d'évaluation utilisée (i.e. quelle molécule intervient dans quel impact et en quelle quantité).

4.1.5 Recherche d'améliorations

Cette recherche se base sur l'ICV et sur l'évaluation des impacts sur l'environnement pour extraire les points critiques dans l'étude qui, modifiés, amèneraient à l'amélioration des paramètres considérés.

4.1.6 Conclusions et recommandations

Finalement, les conclusions seront tirées du travail et établiront les recommandations en résultant. Cette étape essentielle apporte, si l'ACV a été menée avec sérieux, les réponses pratiques aux questions initiales de l'étude.

4.2 Application

4.2.1 Buts du travail

Le but de ce travail sera de déterminer si l'augmentation de l'impression S.O.H.O. couleur du papier à copier (i.e. papier non imprimé destiné à l'impression ou à l'écriture) induit un impact environnemental supérieur à celui de l'impression noir et blanc.

Cette étude s'adresse aux producteurs d'encres, aux producteurs de papier recyclé à partir de papier à copier et, dans une moindre mesure aux producteurs d'imprimantes à jet d'encre, laser et de copieurs. Les résultats seront certainement utilisés par le CEPI afin d'orienter le marché, et sans doute par la société *RDC-Environment* comme base de travail pour des études futures dans des domaines proches de celui-ci.

Ce travail consiste en une :

« *Analyse de Cycle de Vie comparative des encres noires et couleurs employées pour l'impression S.O.H.O du papier à copier en Europe* »

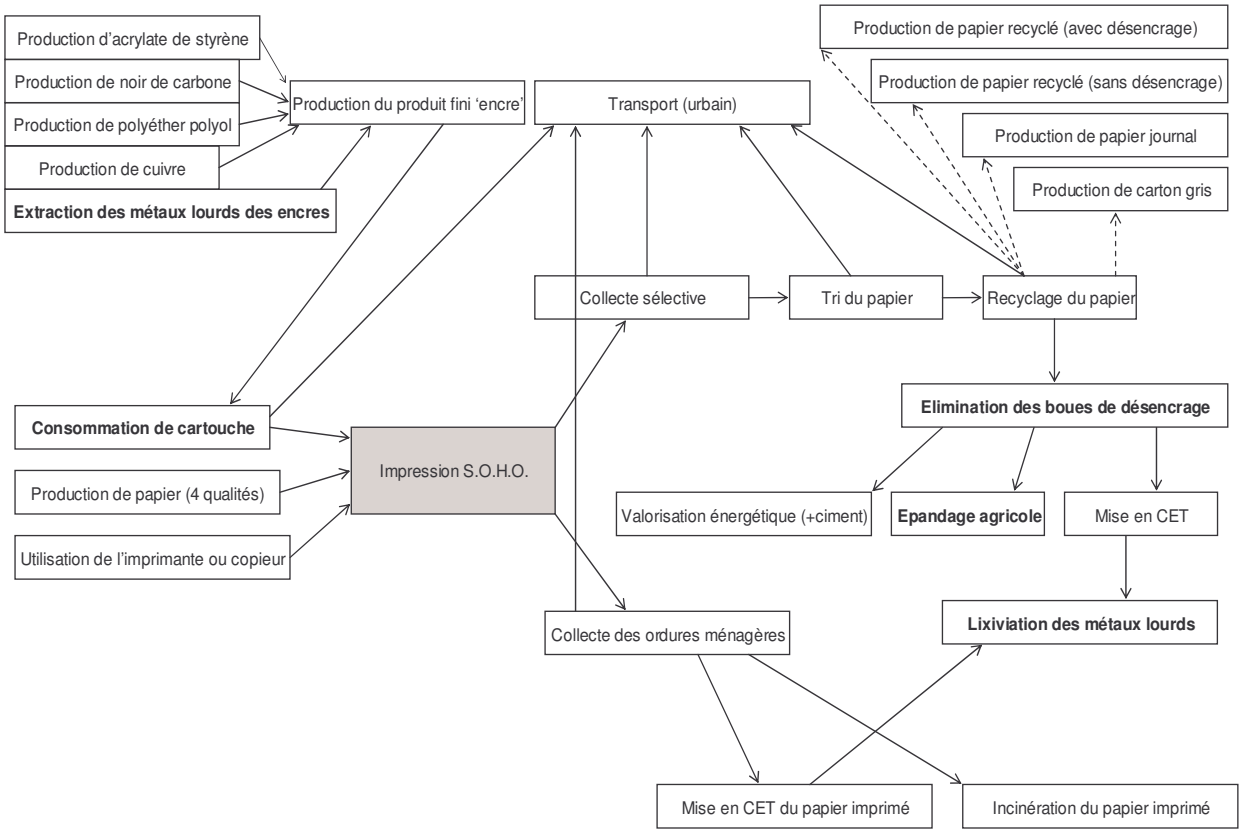
L'ACV utilise la méthode basée sur l'élargissement du système, il s'agit d'une méthode par substitution. Cette technique de calcul a été choisie afin de pouvoir considérer l'un des éléments majeurs de l'étude : la recyclabilité du papier. Selon la qualité du papier imprimé, l'encre et la technologie d'impression employés, son recyclage sera calculé sous forme de « gain environnemental » équivalant à la production d'une quantité de papier de qualité égale.

4.2.2 Frontières et limites du système étudié

Les frontières du système se limitent à :

- la production des encres noires et couleurs pour l'impression S.O.H.O (des composants principaux et du produit fini)
- la production du papier à copier (4 qualités : papier avec ou sans bois, couché ou non)
- la consommation énergétique des imprimantes
- le transport des cartouches d'encre du producteur au consommateur
- la collecte du vieux papier
- les transports depuis la collecte du vieux papier jusqu'à la gestion des déchets finaux
- l'incinération du vieux papier
- la mise en décharge (CET) du vieux papier
- le recyclage du vieux papier
- la gestion des boues de désencrage (incinération, épandage et mise en CET)

L'arbre de procédé s'étend donc des productions des encres et papiers - spécifiques à l'impression S.O.H.O. - jusqu'à la gestion de fin de vie du papier imprimé (y compris de ses résidus de recyclage). Lorsque le recyclage du vieux papier amène à des productions de journaux et cartons, celles-ci sont également reprises dans l'arbre de procédé.



L'arbre de procédé ne reprend pas le procédé de production d'électricité pour des raisons de lisibilité de l'arbre. Tous les procédés y sont liés à l'exception de ceux repris en lettres grasses.

L'analyse porte sur la zone « Europe ». Sa validité temporelle sera certainement déterminée par l'évolution des compositions des encres et technologies de recyclage du papier, ce qui la limite et rend sa période de validité difficile à évaluer.

Il faut souligner que l'étude des procédés du système ne décrit pas seule le travail de comparaison des encres, il est nécessaire d'y ajouter les « habitudes d'impression », voire les « changements de mode » à l'impression.

L'objectif étant de différencier les encres noires et couleurs, les opérations communes à leur utilisation sont exclues, c'est-à-dire :

- la production des imprimantes ;
- le recyclage des cartouches (hypothèse de cartouches identiques).

D'autres hypothèses sont induites par l'inaccessibilité de certaines données :

a) L'ACV ne considère pas :

- la production du produit fini « encre », considérée comme similaire pour toutes les encres étudiées (ce n'est pas le cas pour la production des constituants des encres). Les coûts énergétiques pour sa production sont cependant considérés afin de diminuer l'erreur commise sur ce procédé ;
- la production des cartouches d'encre ;
- le gain de production d'engrais dû à l'épandage agricole des boues de désencrage.

b) l'ACV considère par hypothèse :

- l'énergie consommée pour la production du cuivre identique à celle des divers colorants des encres (ces colorants sont souvent constitués d'oxides de cuivre – principalement le bleu -, les ICV de leur production n'ayant été obtenus, cette approximation permet d'évaluer l'implication de la production des colorants dans le système étudié) ;
- l'ICV des polymères d'acrylate de styrène égal à la somme pondérée (selon leur masse molaire) de ceux du styrène et du méthyle méthacrylate ;
- l'ICV des solvants à base d'alcool dans les encres égal à celui du polyéther polyol
- que le recyclage des diverses qualités de vieux papiers sert à la production de papiers, journaux ou cartons de qualité égale ;
- l'ensemble des encres analysées et compositions obtenues dans la littérature représentative des encres du marché de l'impression S.O.H.O.

4.2.3 Inventaire de Cycle de Vie (ICV)

4.2.3.1 Définition du cadre du travail

Dans toute ACV, la définition de l'unité fonctionnelle apparaît comme une étape clé. Une définition adéquate est nécessaire afin de pouvoir comparer les divers scénarii imaginables. Dans le cas présent, il faut trouver une unité fonctionnelle permettant de comparer l'impression :

- recto et recto verso
- de 4 qualités de papier à copier : papier avec ou sans bois, couché ou non couché
- noir et blanc, et couleur
- à l'aide d'une imprimante à jet d'encre, laser ou d'un copieur

Après analyse de ces paramètres, il a été décidé de définir l'unité fonctionnelle comme :

« L'impression de 1000 faces de papier à copier de format A4 et d'une densité de 80 g/m² »

Le format A4 (dimensions= 210mm X 297mm) et la densité de 80g/m² sont choisis car ils correspondent au papier à copier le plus utilisé. Cette unité fonctionnelle permet à la fois de comparer l'utilisation d'une quantité constante d'encre (1000 faces imprimées dans tous les cas) et un nombre variable de pages imprimées (selon le nombre de recto et recto verso).

4.2.3.2 Collecte des données

Pour la majorité des données, la crédibilité, la validité géographique et temporelle furent aisées à définir. Par contre ce ne fut guère le cas pour leur précision et quant à savoir si ces informations étaient complètes. Cet état de fait pose un problème quant à la comparaison de résultats ne considérant pas le même «niveau de détail». Ces éléments seront rappelés dans les conclusions.

Afin d'assurer l'objectivité des conclusions, la qualité des données récoltées sont différenciées en données fiables, peu fiables et très peu fiables.

4.2.3.2.1 Les données fiables

La composition des encres et la percolation en décharge (ou lixiviation) des boues de désencrage constituent des points faibles des impacts environnementaux [31]. Une bonne connaissance de ces paramètres est donc primordiale. Malheureusement, malgré de nombreux contacts établis, des promesses de confidentialité (i.e. en « noyant » l'information obtenue dans l'ensemble des données encodées de sorte que celles-ci ne puissent être retrouvées), aucune information réellement utilisable ne pu être acquise. Pour combler cette lacune, des analyses des encres ont été effectuées dans les laboratoires de chimie industrielle de l'ULB (service de Madame M-P. Delplancke).

Les éléments à analyser furent déterminés en fonction de leur concentration dans les résidus de désencrage [32].

Les encres liquides furent analysées par la technique analytique d'ICP (appareil Varian, Vista - MPX CCD Simultaneous ICP-DES). Seules les concentrations en métaux lourds furent récoltées (cf. Tableau 2). Les valeurs encodées pour l'encre couleur correspondent à la moyenne des résultats pour le cyan (bleu), jaune et magenta (rose).

Métaux analysés:	Magenta (ppm)	Cyan (ppm)	Jaune (ppm)	Noir (ppm)
As	0	0	0	0
Pb	0	0	0	TRACES
Cd	0	0	0	0
Cr	0,4	0	TRACES	TRACES
Cu	24,45	2570	0,11	0,7
Ni	0	0,15	0	0,05
Zn	1,57	37,3	0,38	1,9

Tableau 2 : Concentration en métaux lourds dans les encres liquides couleurs « Epson Stylus 820 » et noires « MMC GE-0049 C.M.Y ».

Les encres solides (toners) furent analysées par fluorescence (appareil Siemens, Sequential X-Ray Spectrometer SRS 3000). Une méthode d'analyse identique aurait permis une meilleure comparaison des encres liquides et solides. Malheureusement, il n'a pas été possible de solubiliser tous les constituants des encres solides, ce qui rendait l'analyse impossible. Les analyses par fluorescence donnent des résultats semi quantitatifs, ce qui signifie que les proportions entre les différents métaux lourds sont fiables, mais pas leurs valeurs absolues. Pour contourner ce problème, des pertes au feu furent effectuées de sorte que la masse en métaux soit déterminée. Par la suite, les concentrations « réelles » furent calculées par pondération de leurs masses effectives. Dans les cas où les résultats ne pouvaient être encodés tels quels dans « *Range LCA* », la masse moléculaire des éléments a été calculée par « règle de trois ». Il est a noté que les pourcentages en carbone et en oxygène n'ont pas été recalculés en fonction de ces ajustements (les valeurs réelles sont inférieures à celles indiquées correspondant à l'oxygène

total). En effet, ils n'ont pas été considérés comme ressources naturelles extraites du sol, mais sont repris dans les ICV des productions des solvants des encres (cf. Tableau 3). Les résultats bruts avant calculs sont placés en annexe 18.

Noir	%W/W minéraux (pondéré)	Couleur	%W/W minéraux (pondéré)
Na	0,133238996	Na	0,03766905
Al	0,103663252	Al	0,155741262
Si	1,206959029	Si	0,782315974
S	0,287900344	S	0,013753864
Cl	0,093823268	Cl	0,263005886
Ca	0,025617477	Ca	0,047672042
Cr	0,012608546	Cr	0
Mn	0,05783652	Mn	0
Fe	31,13274764	Fe	0,00117848
K	0,001583317	K	0,002087451
Ti	0,094160454	Ti	0,725586265
Cu	0,197610584	Cu	0,156432327
Sn	0,001504151	Sn	0,0073655
Ni	0,005022602	Ni	0
P	0,009057152	P	0,030525233
C	48,49371813	C	89,31851945
O	18,14294853	O	8,458147213
Total=	100,0	Total=	100,0

			Noir	Couleur
Ajustement:	molécule	rapport	%W/W minéraux	%W/W minéraux
Na	Na 2CO3	2,304858423	0,307097023	0,086821828
Al	Al2O3	1,889547813	0,195876672	0,294280561
Si	SiO2	2,139195443	2,581921255	1,673526766
S		1	0,287900344	0,013753864
Cl		1	0,093823268	0,263005886
Ca	CaCO3	2,497005988	0,063966993	0,119037375
Cr		1	0,012608546	0
Mn		1	0,05783652	0
Fe		1	31,13274764	0,00117848
K	K2O	1,204603581	0,00190727	0,00251455
Ti	TiO2	1,668058455	0,157065141	1,210320305
Cu		1	0,197610584	0,156432327
Sn		1	0,001504151	0,0073655
Ni		1	0,005022602	0
P	P2O5	2,29157249	0,02075512	0,069950785
C		1	48,49371813	89,31851945
O		1	18,14294853	8,458147213

Tableau 3 : pourcentages en poids des éléments analysés dans les encres HP C4119 A (cyan), HP C4119 B (jaune), HP C4119 C (magenta), HP C4119 D (noir), HP C 3105 (noir), HP C 3102 (cyan) et F11 toner Océ (noir).

Les analyses des encres apportent les données sur les concentrations en métaux, mais pas sur les composants qui s'évaporent (eau et autres solvants). Elles ne suffisent donc pas pour décrire l'ICV de la production des encres. En effet, même si les résultats donnent 89 % de carbone dans les encres couleurs et 48% dans les encre noires (solvants et colorants principalement organiques) ainsi que 31% de fer dans les encres noires (le pourcentage des oxides de fer est donc élevé), les encres analysées ne sont pas représentatives du marché S.O.H.O. la variabilité des concentrations en les composés principaux est trop élévée. Par conséquent, les métaux analysés sont considérés comme ressources naturelles extraites du sol. Cependant, les résultats ne sont pas repris pour définir la fraction des solvants et colorants dans les encres. Cette information est tirée des fiches de sécurité fournies par les producteurs (cf. tableau 4).

type d'encre	Couleur	Fiche de sécurité / source
liquide (inkjet)	Noir	Black Ink for IIP; American Ink Jet Corporation
		référence [31]
	couleur (cyan+jaune+magenta)	Color Print Cartridge P/N 12A1980; Lexmark
		référence [31]
solide (toner laser)	Noir	LP Toner Cartridge Type 215 Black; Ricoh
		Toner Type 3205D Black; Ricoh
		HK-12 Black Toner; Canon
		référence [31]
	Cyan	Toner Cartridge P/N 15W0900; Lexmark
	Jaune	Toner Yellow 1440 / F42-0535; Canon
	magenta	Toner Magenta 1434 / F42-0525; Canon
solide (toner copieur)	Noir	Toner dry plus 5052/1050; Xerox
		F 12 Toner; Xerox
	couleur (cyan+jaune+magenta)	toner Type 1610; Ricoh

Tableau 4 : Sources de données des compositions des encres.

Tous les transports sont supposés comme ayant lieu en site urbain. Les données fiables sur les transports concernent la collecte des ordures ménagères, la collecte sélective et le tri des vieux papiers [33].

4.2.3.2.2 Les données peu fiables

Les données provenant des ICV suivants proviennent de sources fiables mais ne sont pas suffisamment récentes pour correspondre avec exactitude aux technologies effectivement en application en Europe en 2003 :

- l'incinération du papier provenant de la collecte des ordures ménagères [33]
- l'incinération (avec récupération d'énergie) des boues de désencrage (avec valorisation des cendres résiduelles dans le ciment) [12]
- la mise en décharge du papier provenant des ordures ménagères [33]
- l'épandage agricole [34]
- la production du papier sans bois non couché (wood free uncoated- WFU) [35]
- la production du papier sans bois couché (wood free coated- WFC) [36]
- la production du papier avec bois non couché (wood containg uncoated- WCU) [37]
- la production du papier avec bois couché (wood containing coated- WCC) [38]
- la production de papier recyclé sans désencrage [39]
- la production du papier recyclé avec désencrage [40]

- la production du papier journal [41]
- la production de carton [42]

L'étude portant sur le marché européen, les calculs sont basés sur des données portant sur les différentes sources d'énergie (renouvelables et non renouvelables) en Europe (données de 1997 [33]).

Le désencrage et la production de papier sont représentés comme une seule et même unité de production où les circuits d'eau et de récupération d'énergie sont communs, diminuant les rejets de production.

Les ICV des composants principaux des encres ont été collectés (ou calculés) pour :

- l'acrylate de styrène (composant des encres solides) : calculé comme étant la somme pondérée des masses moléculaires du méthyle méthacrylate et du styrène (par hypothèse). L'ICV « réel » de l'acrylate de styrène peut donner des valeurs très différentes de celles ainsi obtenues ; cependant on peut raisonnablement émettre l'hypothèse que l'ordre de grandeur des ressources et énergies employées lors de sa production est correct (cf. [annexe 19]).
- les solvants à base d'alcool (composants des encres liquides et solides) : considérés comme étant similaires à l'ICV du polyéther polyol. Les solvants à base d'alcool varient d'une encre à l'autre. Il n'est pas possible d'en déterminer systématiquement l'ICV [43]. Comme pour l'ICV de l'acrylate de styrène, ces valeurs apportent des ordres de grandeur, information suffisante étant donné la quantité minime d'encre sur le papier imprimé.

Les imprimantes du marché de l'impression S.O.H.O. proposent des vitesses d'impression assez variables. L'étude considère que les imprimantes à jet d'encre, laser et les copieurs impriment respectivement à des vitesses de 4, 10 et 25 pages par minute (les données sur les consommations électriques se basent sur ces valeurs). Leur consommation énergétique est également très variable. Les données utilisées proviennent d'une étude de 2002 de la société «*RDC-Environment* » qui estiment que les imprimantes à jet d'encre, laser et les copieurs consomment en moyenne respectivement 250, 650 et 700 joules par page [44]. Il est à noter que la consommation électrique en temps de veille n'est pas reprise dans l'étude. En effet, son but est de différentier les impacts environnementaux lors du choix de l'impression et non lors du choix d'une imprimante ou d'un copieur. La prise en compte d'un temps de vieille impliquerait de déterminer une période totale durant laquelle on peut imprimer (un jour, une semaine, etc.). Or, ce temps est fonction de l'intensité d'utilisation de l'imprimante, paramètre sortant du système étudié.

Les parts de marché des imprimantes à jet d'encre, laser et des copieurs sont respectivement de 60, 25 et 15 % [44].

Le taux de collecte sélective du vieux papier en Europe n'est pas connu avec précision par le CEPI, les calculs se basent sur une évaluation de 45%. De même il a été estimé que 80% des ordures ménagères étaient incinérées en Europe et que les 20% restants étaient mis en décharge.

Les informations récoltées sur les parts de marché des qualités de papiers considérées sont très variables, voir contradictoires. Il a été décidé de choisir les données reçues de M. Frithjof Vorrath dont les connaissances sur ce marché semblent les plus fiables [10] : 85% du papier d'impression S.O.H.O. est sans bois non couché, 5% pour chacune des 3 autres qualités.

Les données sur les taux d'utilisation des résidus de papeterie par secteur proviennent d'une étude de l'INGEDE [34] :

- 71,5% pour l'incinération par les industries du ciment, de la brique ou d'autres matériaux de construction ;
- 11,5% pour l'agriculture, le compostage et autres utilisations biologiques ;
- 17% pour la mise en décharge municipale ou sur le site de production.

Il était fondamental de bien évaluer le potentiel de désencrage et de récupération des fibres lors des procédés de recyclage des vieux papiers. Ces taux sont variables et sont fonction de la composition de l'encre, de la technologie d'impression et de la qualité du papier (ces facteurs sont les plus importants) [6]. Malheureusement, comme il l'a déjà été mentionné, les recherches dans ce domaine sont en cours et par conséquent les informations sont lacunaires. En considérant un procédé de recyclage produisant un papier (ou journal ou carton) recyclé de qualité standard, des hypothèses pour évaluer les taux de récupération des fibres sont élaborées. Ces hypothèses se basent sur les critères suivants :

- les taux de recyclage d'un vieux papier imprimé à l'aide d'une imprimante à jet d'encre, laser ou d'un copieur sont respectivement de 30 à 55%, 30 à 80% et 60 à 95% [45] ;
- les taux de recyclage du vieux papier en journal et en carton sont respectivement de 60 à 95% et de 80% [45] ;
- les papiers avec bois et couchés sont recyclés en carton ;
- les papiers avec bois et non couchés sont recyclés en journaux (sans différence entre l'encre noire ou couleur pour le taux de recyclage) ;
- à l'exception du papier sans bois non couché, les encres liquides ne sont pas désencrables ;
- le taux de recyclage des fibres est supérieur de 5% lorsque le papier est imprimé en couleur (l'encre noire rendant la pulp grisâtre, il faut la diluer et donc ajouter des fibres vierges) plutôt qu'en noir et blanc [5] ;
- le papier couché permet un taux de récupération des fibres 10% supérieur à celui du papier non couché [5] (phénomène résultant du mode de fixation de l'encre sur le papier (cf. [annexe 20])).

Les valeurs des taux de recyclage considérées dans l'étude sont définies sous forme de distributions normales (avec un certitude de 99,5% de se trouver dans l'intervalle défini) lorsque les données ne fournissent pas de données suffisamment précises.

4.2.3.2.3 Les données très peu fiables

Les ICV des productions des colorants des encres n'ont pas été obtenus. En conséquence, puisque l'analyse des encres n'apporte pas de données représentatives de leur composition sur les marchés européens, seuls ont été considérés les coûts énergétiques nécessaires à leur production. L'hypothèse est donc que l'analyse des métaux présents dans les encres permet de qualifier et quantifier l'extraction des ressources naturelles pour leur production et que, pour la production spécifique de leurs composants, seules les consommations énergétiques sont considérées, ce qui comble partiellement les lacunes de connaissances. Cette hypothèse néglige donc les rejets dans l'eau, l'air et le sol et les déchets produits, mais permet de comparer les encres noires et couleurs sur base de données présentant le même « niveau de détail ».

La consommation énergétique pour la production des colorants pour le bleu (cyan), jaune et magenta (rose) est basée sur l'hypothèse qu'elle correspond à celle de la production de cuivre (pour une masse identique). En effet, on retrouve souvent les oxydes de cuivre comme colorants des encres. Les valeurs encodées « exagèrent » les impacts puisque sont encodés les consommations énergétiques pour la production du minerai de cuivre et non les oxides de cuivre. Tous les efforts consacrés à l'obtention des compositions chimiques des colorants furent infructueux. Celles-ci sont brevetées et les producteurs les maintiennent secrètes. Cette hypothèse présente les avantages de considérer la production des colorants et de se baser sur l'un des composants les plus fréquemment utilisé (i.e. le cuivre) dans les colorants [24].

La consommation énergétique pour la production du noir de carbone est basée sur une ACV déjà effectuée [23].

Aucune donnée fiable n'a été obtenue sur le transport des cartouches. Il a été considéré qu'en moyenne, un camion de 18 m3 transportait 10.000 cartouches et que celui-ci effectuait lors de ses livraisons 200 kilomètres aller et retour. Il s'agit d'une hypothèse « grossière » qui n'est basée sur aucune analogie par rapport à d'autres données. Il était nécessaire de considérer le transport, facteur pouvant induire des impacts importants. Il est certain que cette valeur dépend fortement du

type de livraison, s'il s'agit du transport du producteur vers le grossiste, du grossiste vers le détaillant, d'un transport urbain, international, etc. le nombre de cartouches et la distance parcourue seront très variables. Cette hypothèse a principalement pour but de donner un ordre de grandeur au transport dans l'analyse des impacts totaux.

Le calcul des coûts énergétiques et rejets dans le sol pour la mise en décharge des boues de désencrage fut effectué à partir de données peu précises du CEPI (cf. Tableau 5).

LCI paper sludge landfilling **source : Buwal – décharges bioactives – p.399-404 ; avec capture des gaz et lixiviats**			
Cons diesel	kg/t déchet	860	
cons électricité	kWh/t déchet	852	
Synthèse des impacts			boues (ppm)
Ammonia (NH4+, as N)			0,003344
Cadmium (Cd)			3,4086^{E}-05
Cadmium (Cd++)			0,0051168
Carbon Dioxide (CO2, fossil)			196328,652
Carbon Monoxide (CO)			18,3625645
Chlorides (Cl-)			0,00058667
Copper (Cu)			0,0002085
Copper (Cu+, Cu++)			0,781875
Fluorides (F-)			13316,4
Hydrogen Chloride (HCl)			8,3895
Hydrogen Fluoride (HF)			0
Iron (Fe)			0,0525
Iron (Fe++, Fe3+)			0,03549
Lead (Pb)			1,4802^{E}-06
Lead (Pb++, Pb4+)			0,004445
Mercury (Hg)			0,0010032
Mercury (Hg+, Hg++)			0,0018768
Methane (CH4)			70148,0719
Nitrogen Oxides (Nox as NO2)			0,00619971
Particulates (unspecified)			14,6900516
(SO4--) en S			0,0004815
Zinc (Zn)			0,00101623
Zinc (Zn++)			4,5764
NMVOC (Volatile Organic Compounds, except methan)			0,59325208
TOC (Total Organic Carbon)			0,00798708
Disamenity (landfill)			1000
cons huile	kg/t déchet		0,038

Tableau 5 : Coûts énergétiques et rejets dans le sol lors de la mise en décharge des boues de désencrage.

4.2.4 Modélisation

L'étude utilise le logiciel « *Range LCA* » pour sa modélisation. Hormis son utilisation facile, il a l'avantage de permettre un encodage des données sous forme statistique si les valeurs sont variables. Le travail achevé, le logiciel calcule un nombre de

points (nombre déterminé par l'utilisateur selon l'intensité de l'étude), correspondants chacun à un cas possible d'ACV. Cette technique de calcul apporte une vision globale des impacts environnementaux possibles puisque des cas extrêmes peuvent être pris en compte.

Un schéma correspondant à l'arbre de procédé de l'ACV comparative fut élaboré. Il reprend tous les éléments impliqués dans le système en partant de l'unité fonctionnelle (cf. schéma 1). Pour des raisons de lisibilité, ce schéma agrandi est placé en annexe 21.

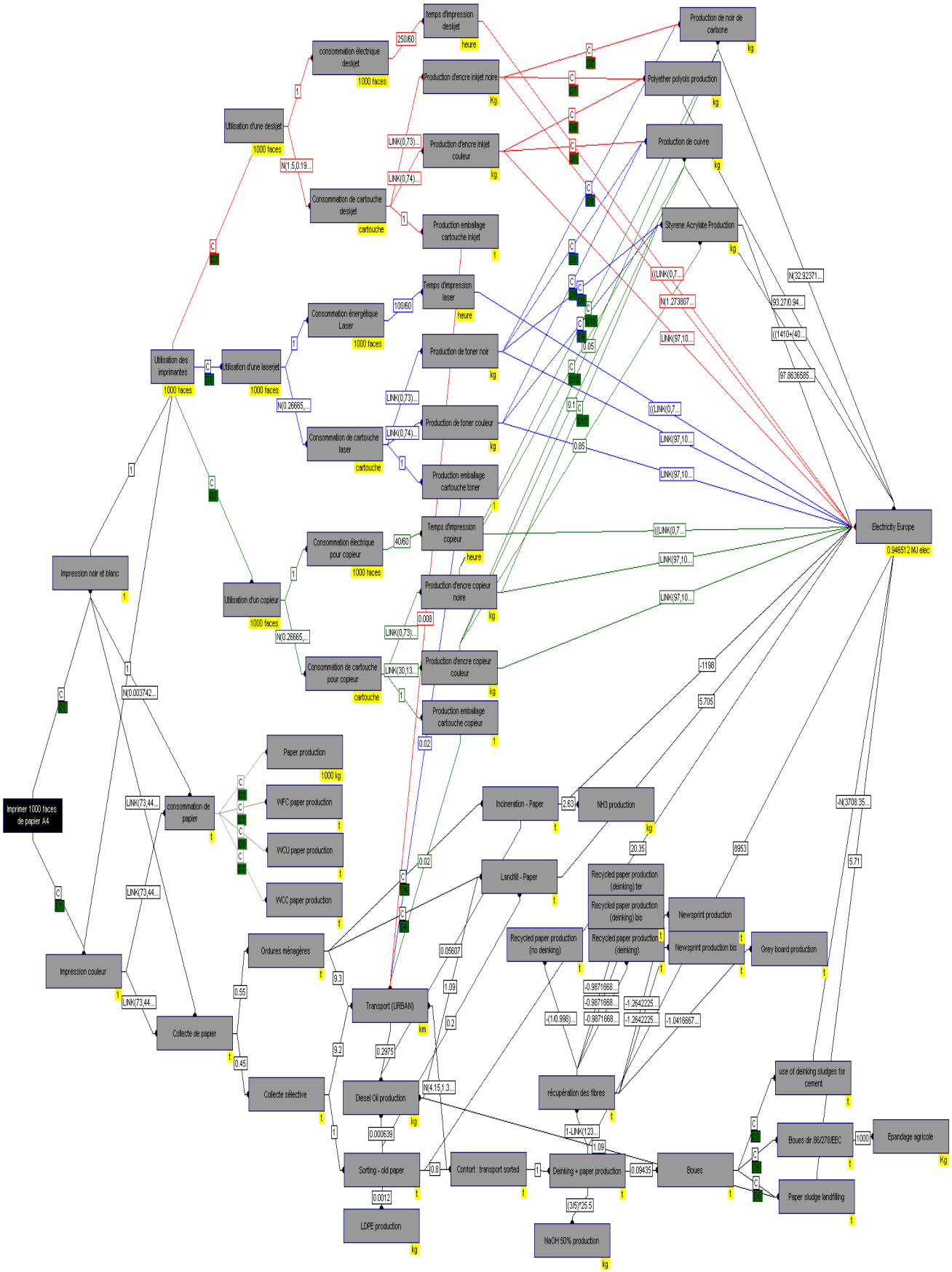


Schéma 1 : Schéma représentant le système étudié (les allocations entre procédés qui sont remplacées par un « C » indiquent où les valeurs sont paramétrées sous forme de conditionnelles).

Il était nécessaire de pouvoir comparer les impacts environnementaux en fonction de l'encre (noire ou couleur), de l'imprimante (jet d'encre ou laser) ou du copieur, et du papier qui sont employés. Obtenir les impacts environnementaux globaux pondérés sur les parts de marché de ces 3 facteurs n'apporterait aucune indication sur les impacts spécifiques de chacun des « cas d'impression » possibles. Pour remédier à cet inconvénient, les liens correspondants à :

- l'utilisation des imprimantes à jet d'encre, laser, ou d'un copieur - 3 cas ;
- l'impression noir et blanc, ou couleur – 2 cas ;
- la qualité de papier imprimé – 4 cas -

furent paramétrés sous forme de valeurs conditionnelles. En d'autres termes, lorsqu'un procédé est appelé dans 50% des cas (i.e. correspond à 50% du marché), le logiciel l'intègrera entièrement dans 50% des ACV calculés. En procédant de la sorte, on obtient 24 cas de figure, repris dans le tableau 6.

cas 1	Inkjet	WFU	Noir
cas 2	Laser	WFC	
cas 3	Copieur	WCU	
cas 4	Inkjet	WCC	
cas 5	Laser	WFU	
cas 6	Copieur	WFC	
cas 7	Inkjet	WCU	
cas 8	Laser	WCC	
cas 9	Copieur	WFU	
cas 10	Inkjet	WFC	
cas 11	Laser	WCU	
cas 12	Copieur	WCC	
cas 13	Inkjet	WFU	Couleur
cas 14	Laser	WFC	
cas 15	Copieur	WCU	
cas 16	Inkjet	WCC	
cas 17	Laser	WFU	
cas 18	Copieur	WFC	
cas 19	Inkjet	WCU	
cas 20	Laser	WCC	
cas 21	Copieur	WFU	
cas 22	Inkjet	WFC	
cas 23	Laser	WCU	
cas 24	Copieur	WCC	

	noir	couleur
WFU	1-5-9-	13-17-21-
WFC	2-6-10-	14-18-22-
WCU	3-7-11-	15-19-23-
WCC	4-8-12-	16-20-24-
inkjet	1-4-7-10-	13-16-19-22-
laser	2-5-8-11-	14-17-20-23-
copieur	3-6-9-12-	15-18-21-24-

	inkjet	laser	copieur
WFU	1-13-	5-17-	9-21-
WFC	10-22-	2-14-	6-18-
WCU	7-19-	11-23-	3-15-
WCC	4-16-	8-20-	12-24-

Tableau 6 : Classement des 24 cas d'étude de l'ACV.

Techniquement, le logiciel ne permet pas d'extraire directement les « résultats spécifiques à chaque mode d'impression ». Pour y arriver, il est nécessaire d'exporter les valeurs (0 ou 1) dans un tableur « Excel » pour chaque itération. Il a été choisi de calculer les impacts environnementaux sur base de 5000 itérations car certains paramètres tels que les papiers couchés sont peu employés sur le marché. Leur probabilité d'être considéré étant proportionnelle à leur part de marché, il est nécessaire d'effectuer un nombre suffisant d'itérations pour diminuer l'erreur relative sur leurs résultats.

Pratiquement, les valeurs des conditionnelles furent exportées dans le tableur « *Excel* ». Ces nombres étant uniquement des 0 ou des 1 (le paramètre est considéré ou non), chaque paramètre est multiplié par un multiple de 10 de sorte que chacun

des 24 cas présente une « valeur clé » différente des autres (cf. Tableau 7). Il suffit ensuite de séparer les 24 cas en fonction de leur numéro d'itération (via des « VLOOKUP » dans « Excel »).

N° cas:	cas:	clé	n	i1	i2	p1	p2	p3
1011	cas 1	1011	1	1	0	1	0	0
10101	cas 2	10101	1	0	1	0	1	0
100001	cas 3	100001	1	0	0	0	0	1
11	cas 4	11	1	1	0	0	0	0
1101	cas 5	1101	1	0	1	1	0	0
10001	cas 6	10001	1	0	0	0	1	0
100011	cas 7	100011	1	1	0	0	0	1
101	cas 8	101	1	0	1	0	0	0
1001	cas 9	1001	1	0	0	1	0	0
10011	cas 10	10011	1	1	0	0	1	0
100101	cas 11	100101	1	0	1	0	0	1
1	cas 12	1	1	0	0	0	0	0
1010	cas 13	1010	0	1	0	1	0	0
10100	cas 14	10100	0	0	1	0	1	0
100000	cas 15	100000	0	0	0	0	0	1
10	cas 16	10	0	1	0	0	0	0
1100	cas 17	1100	0	0	1	1	0	0
10000	cas 18	10000	0	0	0	0	1	0
100010	cas 19	100010	0	1	0	0	0	1
100	cas 20	100	0	0	1	0	0	0
1000	cas 21	1000	0	0	0	1	0	0
10010	cas 22	10010	0	1	0	0	1	0
100100	cas 23	100100	0	0	1	0	0	1
0	cas 24	0	0	0	0	0	0	0

Conditions:
n=1 si encre noire, sinon 0
i1= 1 si imprimante à jet d'encre, sinon 0
i2= 1 si imprimante laser, sinon 0
p1= 1 si papier sans bois non couché, sinon 0
p2= 1 si papier sans bois couché, sinon 0
p3= 1 si papier avec bois non couché, sinon 0

Tableau 7 : Méthode de différenciation des différentes possibilités d'impression en fonction de la couleur de l'encre, le type d'imprimante ou de copieur et la qualité de papier.

Ces 24 cas résultent des valeurs conditionnelles paramétrées dans l'arbre de procédé et intervenant respectivement pour le choix de l'imprimante, du papier et de la couleur, entre les procédés :

- 'utilisation des imprimantes » et 'utilisation d'une imprimante à jet d'encre, laser, un copieur',
- 'consommation de papier' et 'production de papier (avec ou sans bois, couché ou non)',
- ' imprimer 1000 faces de papier A4' et 'impression noir et blanc, couleur'.

L'exploitation de ces informations permettra d'évaluer, sous forme de graphe, l'impact environnemental - sur l'énergie totale consommée, l'acidification de l'air, l'effet de serre, la production de déchets municipaux, industriels et inertes, et les coûts externes totaux – des paramètres 'encre utilisée', 'imprimante ou copieur utilisé' et 'papier imprimé'.

En résumé, le logiciel a été programmé de sorte que l'on puisse extraire les résultats des impacts de l'ACV selon que l'on désire étudier :

- les résultats globaux, en considérant les impacts pondérés sur les parts de marché des imprimantes, encres, et papiers. Il s'agit alors d'une analyse de la situation actuelle de l'impression S.O.H.O. ou,
- les résultats spécifiques des divers modes d'impressions, en considérant uniquement un type d'imprimante, d'encre et de papier.

En pratiquant de cette façon, on pourra comparer les impacts spécifiques des divers cas d'impressions possibles selon l'imprimante (ou copieur), l'encre et le papier choisis, tout en obtenant également le résultat global de l'ACV représentant le marché européen actuel. L'analyse et l'interprétation des résultats seront en conséquence dédoublées en « résultats globaux », et « résultats spécifiques à chaque mode d'impression ».

4.2.5 Analyse des résultats

4.2.5.1 Analyse des résultats globaux

L'analyse des résultats qui suit représente les impacts environnementaux du marché tel que les données récoltées ont permis de le décrire. Seuls les impacts supérieurs à 1% du total sont repris. Les valeurs négatives correspondent à des procédés permettant d'éviter des impacts (i.e. gain de production de papier grâce au recyclage). Il s'agit d'une conséquence directe de l'application de la méthode procédant par substitution dans la description de l'ACV. Les impacts sur l'environnement sont considérés sous les formes suivantes :

- Acidification de l'air, en gramme équivalent H+ ; Localisation : NL ; 1992 ; Tableau 8 ;
- Effet de serre (à 100 ans), en gramme équivalent CO_2; Localisation : GLO ; 1998 ; Tableau 9 ;
- Energie totale consommée, en mégajoule (MJ) ; Localisation : CH - BE (Buwal et *RDC-Environment*») ; 1996 ; Tableau 10 ;
- Déchets municipaux, industriels et inertes produits, en kilo ; Localisation : BE (*RDC-Environment*) ; Tableau 11 ;
- Coûts externes totaux (évaluation directe et indirecte), en euro ; Localisation : BE (*RDC-Environment*) ; Tableau 12.

Les coûts externes totaux sont basés sur la monétarisation de chaque impact environnemental. Chaque unité des catégories d'impacts (gramme équivalent CO_2, gramme équivalent H+, etc.) est transformée en « équivalent euro » selon des facteurs acceptés par la Commission Européenne lors de précédentes études effectuées par la société *RDC-Environment*. Cette conversion suit notamment le principe d'internalisation des coûts par la théorie des « prix hédonistes ».

	Electricity Europe	Paper production	Transport (URBAN)	Incineration - Paper	WFC paper production	WCU paper production
(a) Ammonia (NH3)	0,009	1,215		0,056	0,043	0,077
(a) Hydrogen Chloride (HCl)	0,912	0,197		0,297	0,009	0,020
(a) Hydrogen Cyanide (HCN)						
(a) Hydrogen Fluoride (HF)	0,063	0,034		0,017	0,002	0,004
(a) Hydrogen Sulphide (H2S)	0,060	0,434			0,009	0,003
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	5,785	22,174	1,494	8,966	0,832	0,676
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	24,079	28,876	0,005	0,939	1,494	1,386
(a) Sulphuric Acid (H2SO4)						
Total	30,908	52,929	1,499	10,276	2,389	2,167

	WCC paper production	Recycled paper production (deinking) bis	Grey board production	Recycled paper production (deinking) ter	FU
(a) Ammonia (NH3)	0,059	-0,075	0,000	-0,047	1,257
(a) Hydrogen Chloride (HCl)	0,014	-0,010	-0,002	-0,006	1,547
(a) Hydrogen Cyanide (HCN)					0,000
(a) Hydrogen Fluoride (HF)	0,003	-0,002	0,000	-0,001	0,118
(a) Hydrogen Sulphide (H2S)	0,010	-0,003		-0,002	0,511
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	0,935	-0,679	-0,209	-0,422	40,681
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	1,319	-1,146	-1,391	-0,712	55,886
(a) Sulphuric Acid (H2SO4)					0,000
Total	2,340	-1,914	-1,602	-1,189	100,000

Tableau 8. Acidification de l'air (en %)

	Electricity Europe	Paper production	Incineration - Paper	Landfill - Paper	WFC paper production	WCC paper production	Recycled paper production (no deinking)	FU
(a) Carbon Dioxide (CO2, fossil)	16,390	28,328	27,472	2,153	1,154	1,531	-1,155	77,140
(a) Carbon Tetrafluoride (CF4)	0,000							0,000
(a) Halon 1301 (CF3Br)	0,002	0,003			0,000	0,000	0,000	0,005
(a) Methane (CH4)	1,745	1,660	0,002	18,462	0,064	0,089	-0,076	22,530
(a) Nitrous Oxide (N2O)	0,078	0,245			0,009	0,012	-0,012	0,325
Total	18,215	30,236	27,475	20,615	1,226	1,632	-1,243	100,000

Tableau 9. Effet de serre (à 100 ans) (en %)

	Electricity Europe	Paper production	Deinking + paper production	WFC paper production	WCU paper production	WCC paper production	FU
(r) Coal (in ground)	4,383	2,207		0,115	0,249	0,166	6,864
(r) Lignite (in ground)	1,804						1,821
(r) Natural Gas (in ground)	2,711	15,739	0,038	0,585	0,078	0,818	19,204
(r) Oil (in ground)	2,645	4,479	0,448	0,292	0,316	0,312	8,144
(r) Uranium (U, ore)	0,009	0,006		0,000	0,001	0,001	0,081
(r) Wood	0,020	22,126		0,741	1,492	1,013	25,079
(r) Potential energy water		3,286		0,100	0,471	0,187	3,649
(r) Wood (as commercial fuel)		31,910	1,491	1,038	0,087	0,803	35,158
Total	11,573	79,753	1,977	2,872	2,693	3,300	100,000

Tableau 10. Energie totale consommée (en %)

	Electricity Europe	Paper production	WFC paper production	WCU paper production	WCC paper production
(o) Waste (municipal and industrial)	0,004				
(o) Waste (total)	8,832				
(o) Waste (unspecified)	0,054				
(o) Waste: Non Mineral (inert)	0,001				
(o) Waste: Non Toxic Chemicals (unspecified)	0,000				
(o) Waste: Mineral (inert)	7,211				
(o) Waste: Slags and Ash (unspecified)	1,545				
(o) Waste: Mining wastes	12,757				
(o) Waste: MSW					
(o) Waste (incineration)		0,458	0,118	0,000	0,116
(o) Waste (unspecified,to incineration)	0,004				
(o) Waste: Treatment					
(o) Waste in inert material landfill		1,628	0,176	0,001	0,115
(o) Waste in reactor landfill		6,931	0,244	0,057	0,304
(o) Refuse at degradation site		4,091	1,914	1,927	3,193
Total	30,409	13,109	2,453	1,985	3,729

Tableau 11. Déchets municipaux, industriels et inertes produits (en %) (partie 1 de 2)

	Recycled paper production (deinking) bis	Styrene Acrylate Production	Polyether polyols production	Recycled paper production (deinking) ter	FU
(o) Waste (municipal and industrial)			6,442		6,447
(o) Waste (total)					8,832
(o) Waste (unspecified)		3,876			4,199
(o) Waste: Non Mineral (inert)					0,001
(o) Waste: Non Toxic Chemicals (unspecified)		0,442	0,008		0,450
(o) Waste: Mineral (inert)		29,718	0,048		36,982
(o) Waste: Slags and Ash (unspecified)		6,274	4,364		12,584
(o) Waste: Mining wastes					12,817
(o) Waste: MSW					0,021
(o) Waste (incineration)	0,000		0,003	0,000	0,345
(o) Waste (unspecified,to incineration)					0,004
(o) Waste: Treatment					0,000
(o) Waste in inert material landfill	-0,001			0,000	1,917
(o) Waste in reactor landfill	-0,059			-0,037	7,395
(o) Refuse at degradation site	-1,783			-1,108	8,005
Total	-1,843	40,309	10,865	-1,145	100,000

Tableau 11. Déchets municipaux, industriels et inertes produits (en %) (partie 2 de 2)

	Electricity Europe	Paper production	use of deinking sludges for cement	Incineration – Paper	Landfill - Paper	Deinking + paper production
(a) Acetaldehyde (CH3CHO)	0,000					
(a) Acetone (CH3COCH3)	0,000					
(a) Acetylene (C2H2)	0,001					
(a) Aldehydes	0,000	0,128				
(a) Alkanes	0,004					
(a) Ammonia (NH3)	0,000	0,047		0,002		
(a) Aromatic Hydrocarbons (unspecified)	0,000	0,004				
(a) Arsenic (As)	0,000					
(s) Arsenic (As)	0,000					
(w) Arsenic (As3+, As5+)	0,000	0,001				
(w) Barium (Ba++)	0,029	0,044				
(a) Benzene (C6H6)	0,001	0,001		0,000		
(w) Benzene (C6H6)	0,000					
(a) Benzo(a)pyrene (C20H12)	0,000			0,000		
(w) Boron (B III)	0,000					
(a) Butane (n-C4H10)	0,002					
(a) Cadmium (Cd)	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	
(s) Cadmium (Cd)	0,000					
(w) Cadmium (Cd++)	0,000	0,000		0,000	0,000	
(a) Carbon Dioxide (CO2, fossil)	2,788	4,819		4,674	0,366	0,088
(a) Carbon Monoxide (CO)	1,200	0,200		0,024	0,002	0,005
(a) Carbon Tetrafluoride (CF4)	0,000					
(a) Chromium (Cr III, Cr VI)	0,016					

(w) Chromium (Cr III, Cr VI)	0,000	0,017				
(w) Chromium (Cr VI)	0,000	0,000				
(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	0,000	5,206				0,038
(w) Copper (Cu+, Cu++)	0,000	0,000		0,000	0,001	
(a) Ethane (C2H6)	0,004					
(a) Ethanol (C2H5OH)	0,000					
(a) Ethylbenzene (C6H5C2H5)	0,000					
(a) Ethylene (C2H4)	0,045					
(a) Formaldehyde (CH2O)	0,000					
(w) Formaldehyde (CH2O)	0,000					
(a) Halogenous Hydrocarbons (unspecified)						
(a) Halon 1301 (CF3Br)	-0,002	-0,004				
(a) Heptane (C7H16)	0,000					
(a) Hexane (C6H14)	0,000					
(a) Hydrocarbons (except methane)	0,098					
(a) Hydrocarbons (unspecified)	0,001					
(a) Hydrogen Chloride (HCl)	0,012	0,003		0,004	0,001	
(a) Hydrogen Fluoride (HF)	0,001	0,000		0,000		
(a) Hydrogen Sulphide (H2S)	0,065	0,489				
(a) Lead (Pb)	0,007	0,001			0,000	
(w) Lead (Pb++, Pb4+)	0,006	0,012		0,012	0,005	
(w) Manganese (Mn II, Mn IV, Mn VII)	0,000					
(a) Manganese (Mn)	0,002	0,000				
(a) Mercaptans		0,002				
(a) Mercury (Hg)	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	
(w) Mercury (Hg+, Hg++)	0,000	0,000		0,000	0,002	

(a) Methane (CH4)	0,273	0,259		0,000	2,883	
(a) Methanol (CH3OH)	0,000					
(w) Molybdenum (Mo II, Mo III, Mo IV, Mo V, Mo VI)	0,000					
(a) Nickel (Ni)	0,001	0,001				
(s) Nickel (Ni)	0,000					
(w) Nickel (Ni++, Ni3+)	0,000	0,001				
(w) Nitrate (NO3-)	0,000	0,048				
(w) Nitrite (NO2-)	0,000					
(w) Nitrogen (N, total)		0,053				
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	2,095	8,324		3,366	0,000	0,292
(w) Nitrogenous Matter (unspecified, as N)	0,000					
(a) Nitrous Oxide (N2O)	0,011	0,036				
(a) Particulates (unspecified)	2,185	15,630		0,201	0,050	0,229
(a) Pentane (C5H12)	0,001					
(a) Phenol (C6H5OH)	0,000					
(w) Phosphates (PO4 3-, HPO4--, H2PO4-, H3PO4, as P)	0,000	0,001				6,033
(w) Phosphorus (P)	0,000					
(a) Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)	0,000	0,000				
(a) Propane (C3H8)	0,008					
(a) Propionaldehyde (CH3CH2CHO)	0,000					
(a) Propylene (CH2CHCH3)	0,005					
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	8,740	10,864		0,353		
(a) Toluene (C6H5CH3)	0,001			0,000		
(a) VOC (Volatil Organic Compounds)						
(a) Xylene (C6H4(CH3)2)	0,001					
(a) Dioxins (unspecified)	0,000		4,406	0,071		

(a) Acetic Acid (CH3COOH)	0,000					
(a) Alkene (unspecified)	0,004					
(a) Metals (unspecified)	0,000	0,221	0,112	0,036		
(a) NMVOC (Volatile Organic Compounds, except methan)		0,355		0,005	0,000	
(a) Propionic Acid (CH3CH2COOH)	0,000					
(s) Chromium (Cr III, Cr VI)	0,000					
(w) Acids as H+	0,000					
(w) Metals (unspecified)	0,000	0,659				
(w) Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)	0,002	0,002				
(a) Carbon Dioxide (CO2, biomass)						
(o) Disamenity (landfill)					5,100	0,094
(o) Disamenity (incineration)				2,163		
(a) HCFC (unspecified)						
Total	17,612	47,425	4,519	10,916	8,412	6,779

Tableau 12. Coûts externes totaux (évaluation directe et indirecte) (en %) (partie 1 de 2)

	WFC paper production	WCU paper production	WCC paper production	Recycled paper production (deinking) bis	FU
(a) Acetaldehyde (CH3CHO)					0,000
(a) Acetone (CH3COCH3)					0,000
(a) Acetylene (C2H2)					0,001
(a) Aldehydes	0,002	0,002	0,003	-0,001	0,132
(a) Alkanes					0,004
(a) Ammonia (NH3)	0,002	0,003	0,002	-0,003	0,049
(a) Aromatic Hydrocarbons (unspecified)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
(a) Arsenic (As)					0,000
(s) Arsenic (As)					0,000
(w) Arsenic (As3+, As5+)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
(w) Barium (Ba++)	0,002	0,004	0,002	-0,003	0,080
(a) Benzene (C6H6)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
(w) Benzene (C6H6)					0,000
(a) Benzo(a)pyrene (C20H12)					0,000
(w) Boron (B III)					0,000
(a) Butane (n-C4H10)					0,002
(a) Cadmium (Cd)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
(s) Cadmium (Cd)					0,000
(w) Cadmium (Cd++)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
(a) Carbon Dioxide (CO2, fossil)	0,196	0,136	0,260	-0,105	13,124
(a) Carbon Monoxide (CO)	0,008	0,004	0,009	-0,007	1,519
(a) Carbon Tetrafluoride (CF4)					0,000
(a) Chromium (Cr III, Cr VI)					0,016

(w) Chromium (Cr III, Cr VI)	0,001	0,002	0,001	-0,001	0,019
(w) Chromium (Cr VI)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	0,019	0,007	0,013	-0,006	5,271
(w) Copper (Cu+, Cu++)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
(a) Ethane (C2H6)					0,005
(a) Ethanol (C2H5OH)					0,000
(a) Ethylbenzene (C6H5C2H5)					0,000
(a) Ethylene (C2H4)					0,045
(a) Formaldehyde (CH2O)					0,000
(w) Formaldehyde (CH2O)					0,000
(a) Halogenous Hydrocarbons (unspecified)					0,000
(a) Halon 1301 (CF3Br)	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,006
(a) Heptane (C7H16)					0,000
(a) Hexane (C6H14)					0,000
(a) Hydrocarbons (except methane)					0,110
(a) Hydrocarbons (unspecified)					0,002
(a) Hydrogen Chloride (HCl)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020
(a) Hydrogen Fluoride (HF)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
(a) Hydrogen Sulphide (H2S)	0,010	0,004	0,012	-0,003	0,574
(a) Lead (Pb)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009
(w) Lead (Pb++, Pb4+)	0,001	0,002	0,001	-0,001	0,037
(w) Manganese (Mn II, Mn IV, Mn VII)					0,000
(a) Manganese (Mn)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
(a) Mercaptans	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
(a) Mercury (Hg)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
(w) Mercury (Hg+, Hg++)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003

(a) Methane (CH4)	0,010	0,007	0,014	-0,004	3,519
(a) Methanol (CH3OH)					0,000
(w) Molybdenum (Mo II, Mo III, Mo IV, Mo V, Mo VI)					0,000
(a) Nickel (Ni)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
(s) Nickel (Ni)					0,000
(w) Nickel (Ni++, Ni3+)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
(w) Nitrate (NO3-)	0,002	0,003	0,002	-0,003	0,048
(w) Nitrite (NO2-)					0,000
(w) Nitrogen (N, total)	0,001	0,000	0,002	0,000	0,057
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	0,312	0,254	0,351	-0,255	15,195
(w) Nitrogenous Matter (unspecified, as N)					0,000
(a) Nitrous Oxide (N2O)	0,001	0,001	0,002	-0,001	0,048
(a) Particulates (unspecified)	0,440	0,417	0,509	-0,385	19,276
(a) Pentane (C5H12)					0,001
(a) Phenol (C6H5OH)					0,000
(w) Phosphates (PO4 3-, HPO4--, H2PO4-, H3PO4, as P)	0,000	0,000	0,000	0,000	6,034
(w) Phosphorus (P)	0,002	0,000	0,002	0,000	0,004
(a) Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
(a) Propane (C3H8)					0,009
(a) Propionaldehyde (CH3CH2CHO)					0,000
(a) Propylene (CH2CHCH3)					0,005
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	0,562	0,522	0,496	-0,431	20,706
(a) Toluene (C6H5CH3)					0,001
(a) VOC (Volatil Organic Compounds)					0,002
(a) Xylene (C6H4(CH3)2)					0,001
(a) Dioxins (unspecified)					4,477

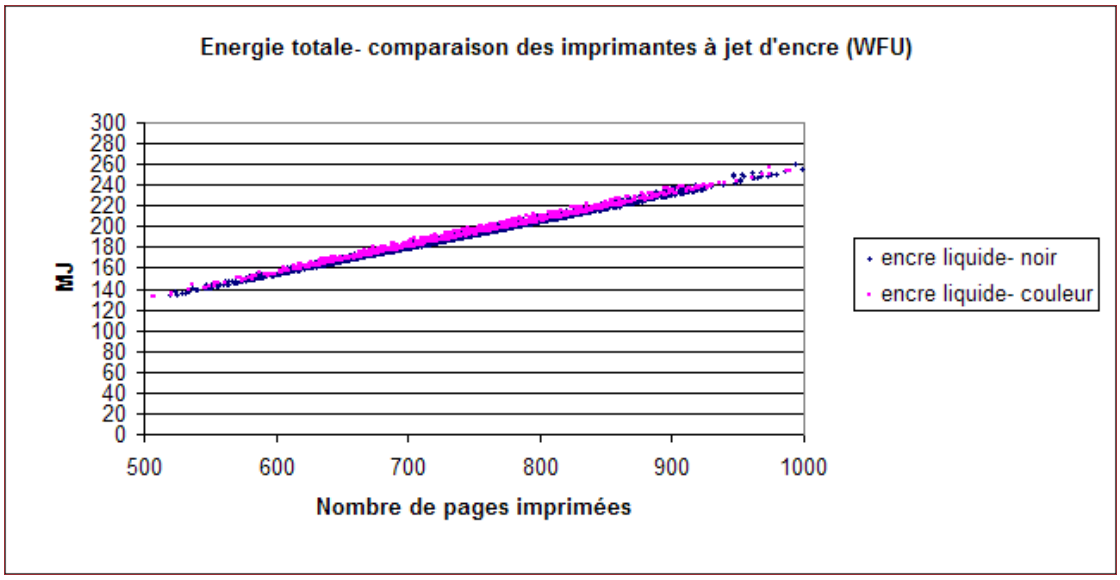
(a) Acetic Acid (CH3COOH)					0,000
(a) Alkene (unspecified)					0,004
(a) Metals (unspecified)	0,011	0,022	0,015	-0,010	0,380
(a) NMVOC (Volatile Organic Compounds, except methan)	0,017	0,012	0,019	-0,013	0,377
(a) Propionic Acid (CH3CH2COOH)					0,000
(s) Chromium (Cr III, Cr VI)					0,000
(w) Acids as H+					0,002
(w) Metals (unspecified)	0,025	0,054	0,033	-0,040	0,710
(w) Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
(a) Carbon Dioxide (CO2, biomass)					0,214
(o) Disamenity (landfill)	0,213	0,181	0,330	-0,168	5,724
(o) Disamenity (incineration)	0,003	0,000	0,003	0,000	2,160
(a) HCFC (unspecified)					0,000
Total	1,841	1,636	2,082	-1,441	100,000

Tableau 12. Coûts externes totaux (évaluation directe et indirecte) (en %) (partie 2 de 2)

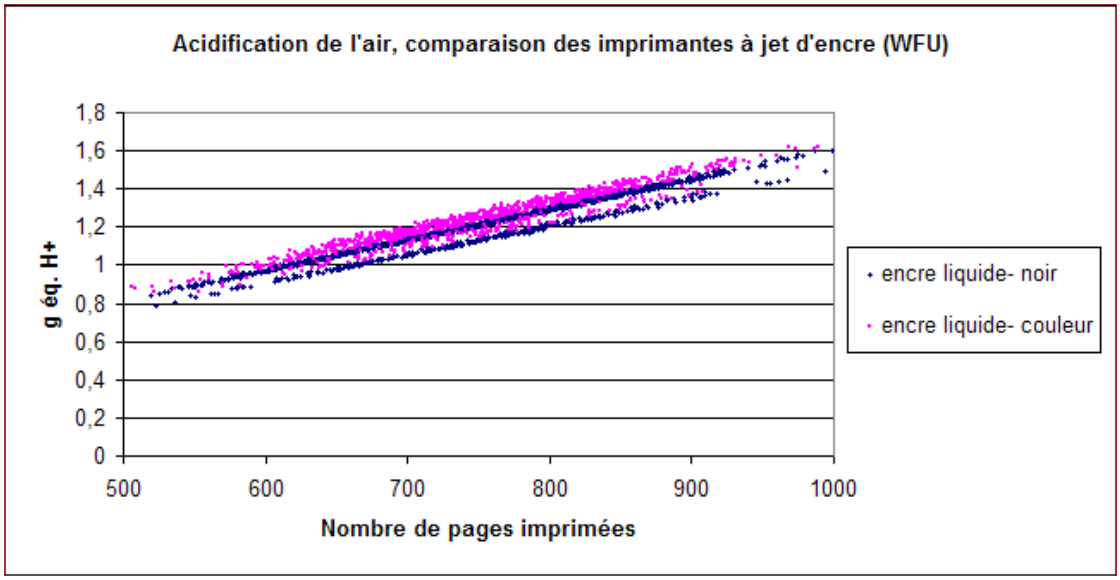
4.2.5.2 Analyse des résultats spécifiques à chaque mode d'impression

La multitude des résultats rend leur interprétation plus aisée à l'aide de graphiques. Lorsque les facteurs critiques seront déterminés (i.e. après interprétation des résultats), leur analyse plus poussée apportera alors les réponses aux questions posées spécifiques à la différenciation des choix d'impression S.O.H.O.

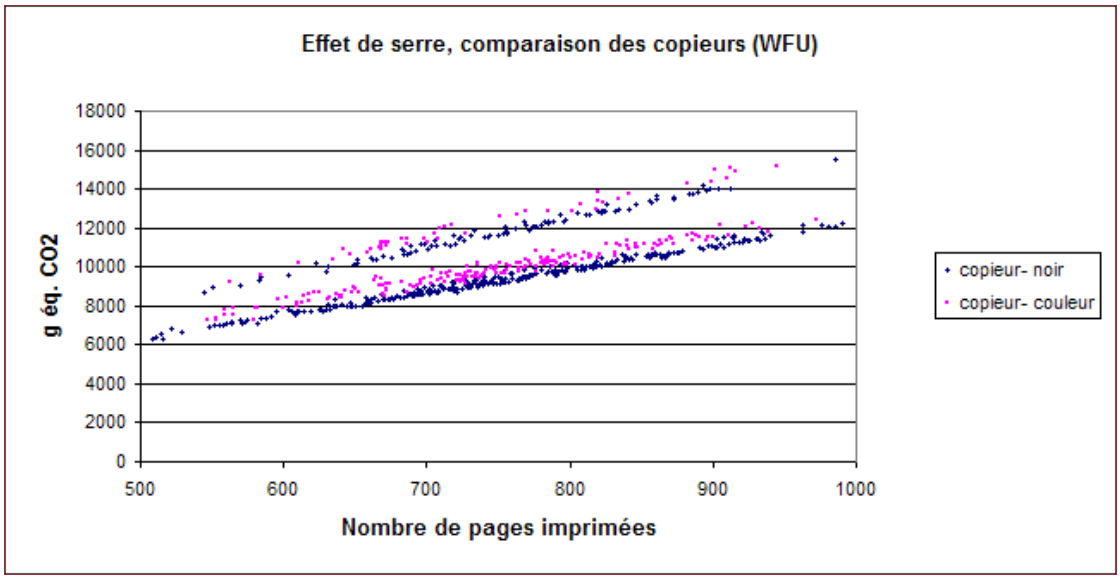
Dans un premier temps, toutes les catégories d'impacts environnementaux sont comparées. Les graphiques 1 à 6 comparent, pour une qualité de papier et un mode d'impression fixés, les encres noires et couleurs en fonction du nombre de pages imprimées. Le nombre de pages imprimées (en abscisse) s'étend sur un intervalle allant de 500 à 1000 pages car l'unité fonctionnelle considère les impressions recto et recto verso de 1000 faces. Cet échantillon de graphiques est représentatif des résultats globaux. Tous les graphiques possibles ne sont donc pas repris. Pour des raisons de lisibilité, seule l'impression sur papier sans bois non couché est présentée car les allures des courbes considérant les autres qualités de papier sont très similaires. Il en va de même pour les divers modes d'impression. Un échantillon plus large de graphiques est repris en annexe 22.



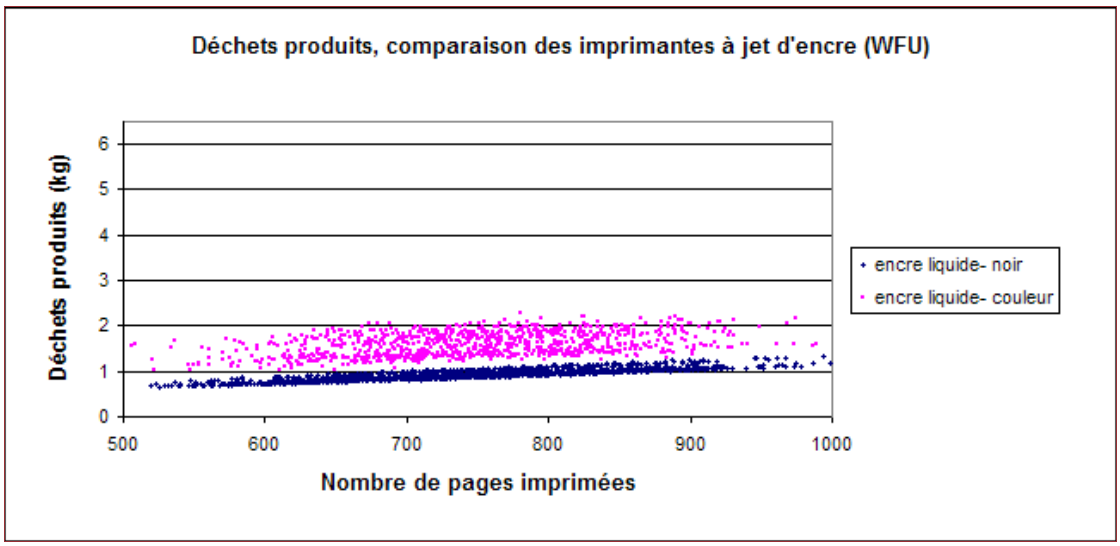
Graphique 1 : Comparaison des encres liquides noires et couleurs au niveau de la consommation totale d'énergie pour une imprimante à jet d'encre en fonction du nombre de pages (de papier sans bois et non couché) imprimées.



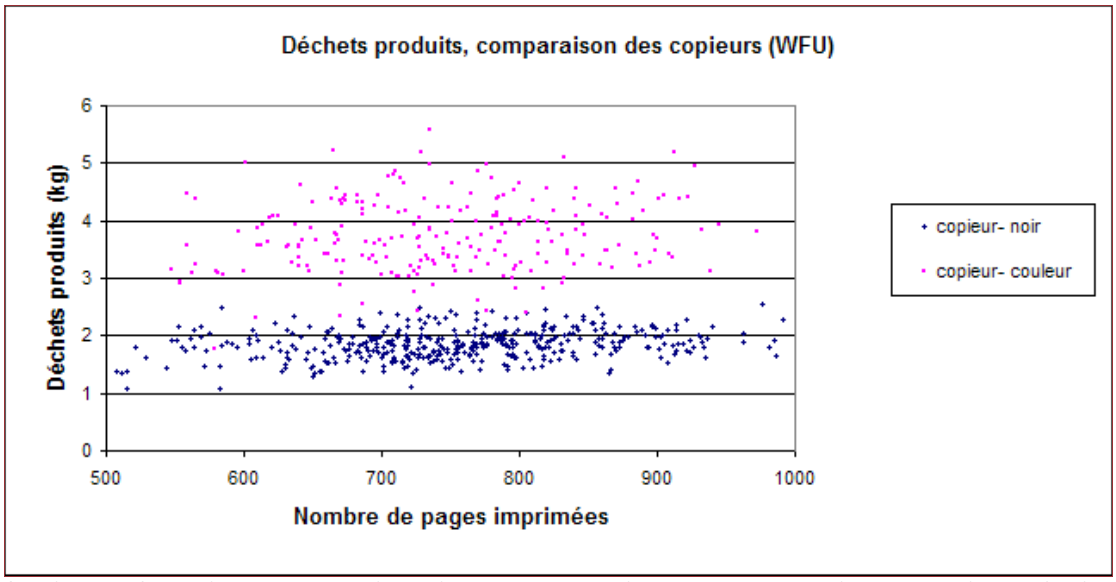
Graphique 2 : Comparaison des encres liquides noires et couleurs au niveau de l'acidification de l'air pour une imprimante à jet d'encre en fonction du nombre de pages (de papier sans bois et non couché) imprimées.



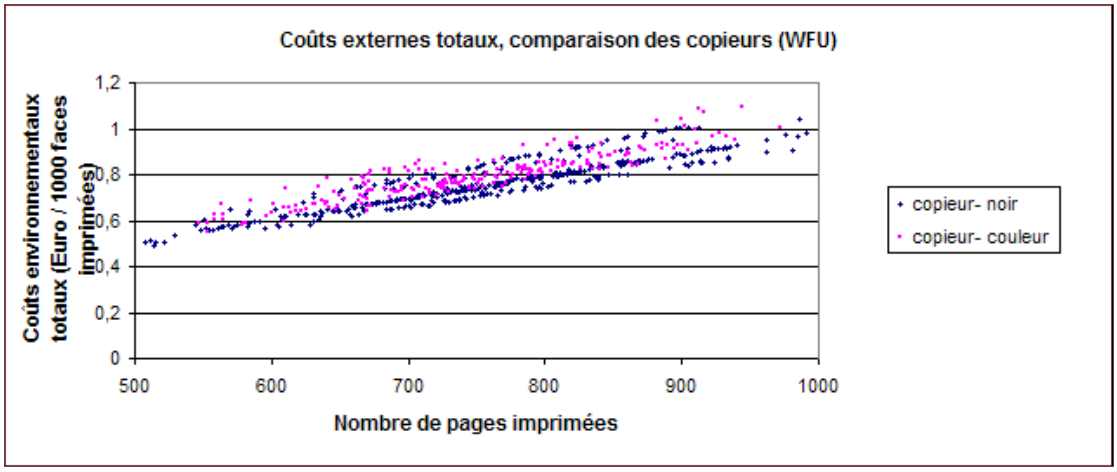
Graphique 3 : Comparaison des encres solides noires et couleurs au niveau de l'effet de serre pour un copieur en fonction du nombre de pages (de papier sans bois et non couché) imprimées.



Graphique 4 : Comparaison des encres liquides noires et couleurs au niveau des déchets produits par une imprimante à jet d'encre fonction du nombre de pages (de papier sans bois et non couché) imprimées.

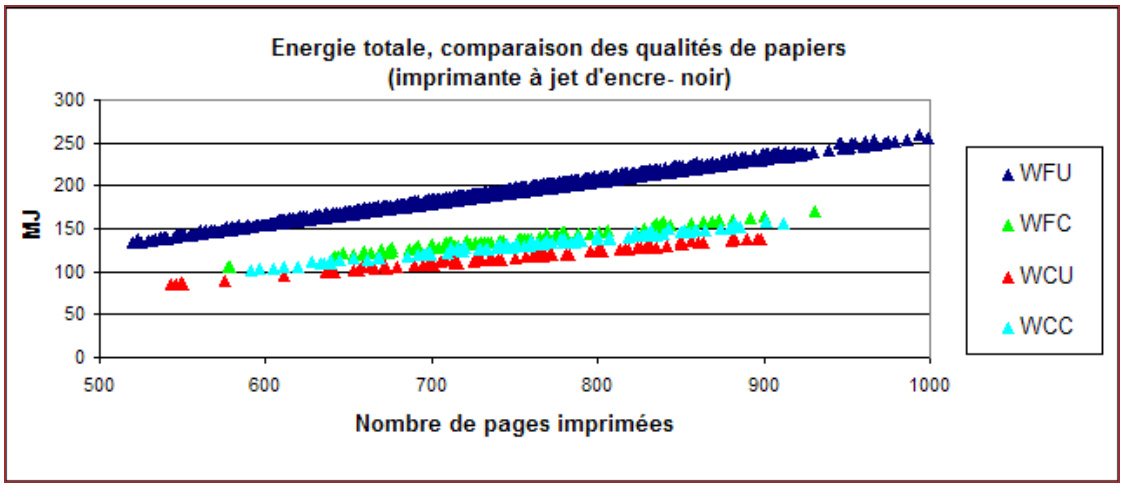


Graphique 5 : Comparaison des encres solides noires et couleurs au niveau des déchets produits par un copieur en fonction du nombre de pages (de papier sans bois et non couché) imprimées.

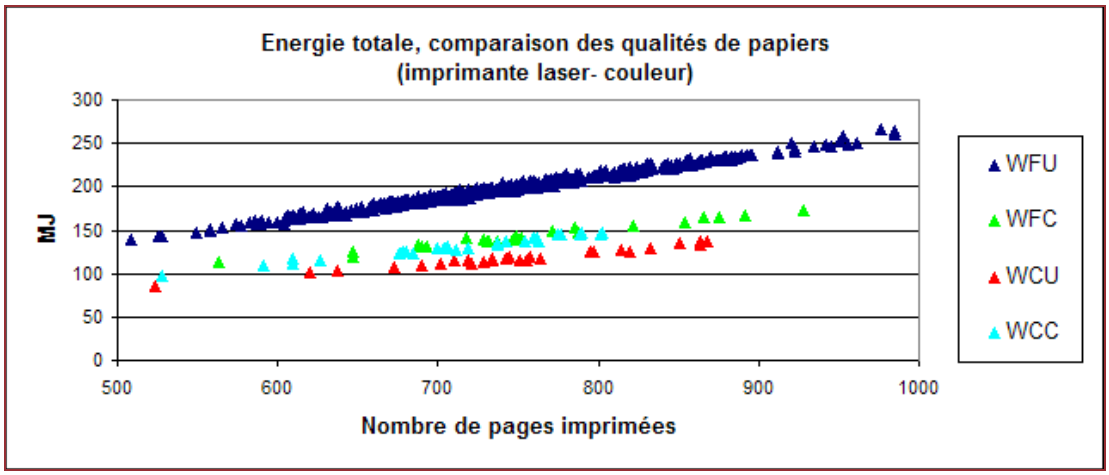


Graphique 6 : Comparaison des encres solides noires et couleurs au niveau des coûts externes totaux pour un copieur en fonction du nombre de pages (de papier sans bois et non couché) imprimées.

La comparaison de l'énergie totale consommée par le système pour chaque qualité du papier en fonction du nombre de pages imprimées démontre l'importance du support d'impression dans les impacts environnementaux (cf. Graphiques 7 et 8). Pour les mêmes raisons que précédemment, tous les graphiques possibles ne sont pas publiés.

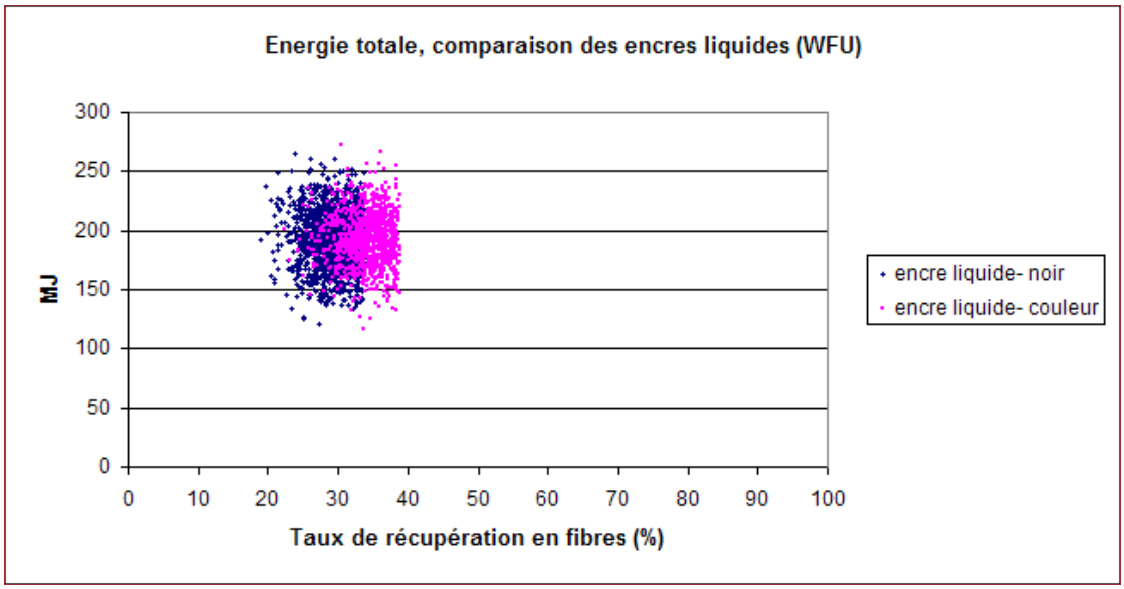


Graphique 7 : Comparaison des qualités de papiers au niveau de l'énergie totale consommée par une imprimante à jet d'encre (noire) en fonction du nombre de pages (de papier sans bois et non couché) imprimées.

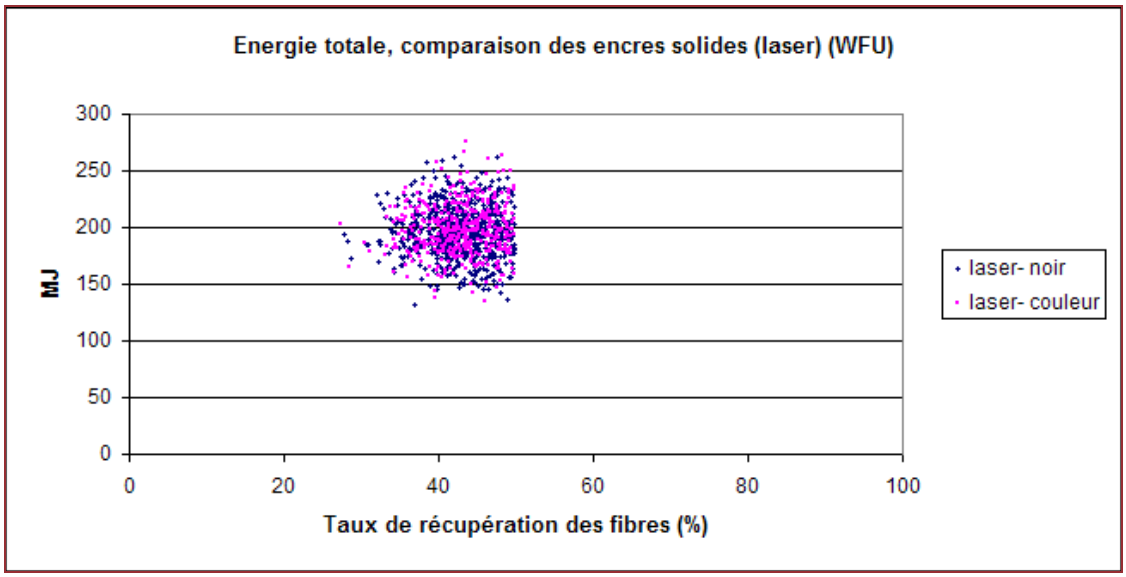


Graphique 8 : Comparaison des qualités de papiers au niveau de l'énergie totale consommée par une imprimante laser (couleur) en fonction du nombre de pages (de papier sans bois et non couché) imprimées.

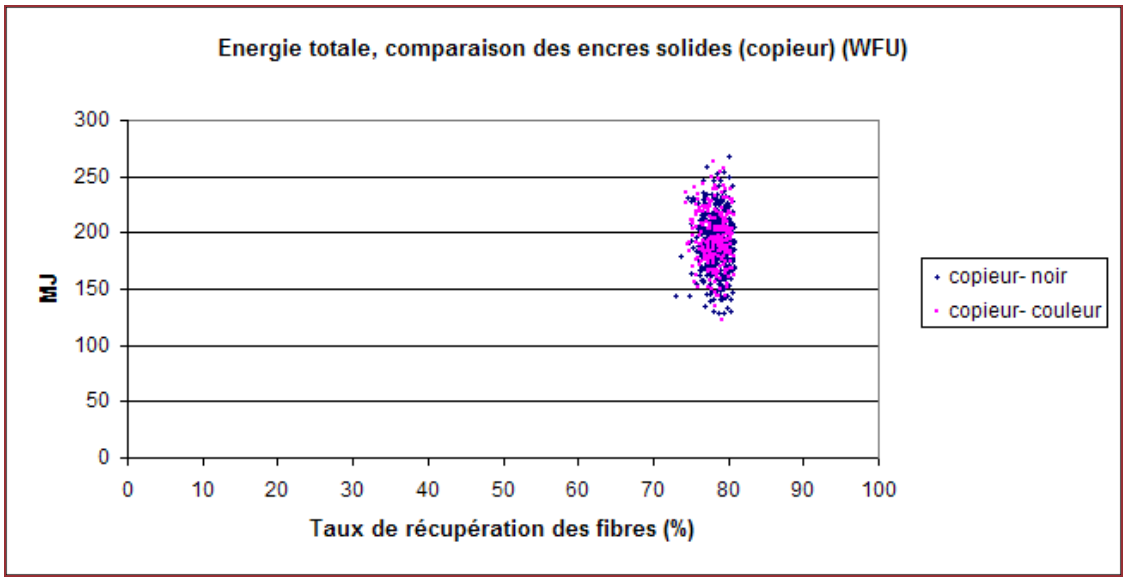
La comparaison des impacts liés à l'impression noir et blanc ou couleur peut être établie selon les répercussions sur le recyclage du vieux papier (i.e. propriétés de désencrage et de récupération des fibres en fonction du lien chimique encre-fibre). La comparaison de l'énergie totale consommée par le système en fonction du taux de recyclage du vieux papier est présentée dans les graphiques 9 à 11. Pour les mêmes raisons que précédemment, tous les graphiques possibles ne sont pas publiés.



Graphique 9 : Comparaison des encres liquides noires et couleurs au niveau de l'énergie totale consommée par le système en fonction du taux de récupération en fibres.

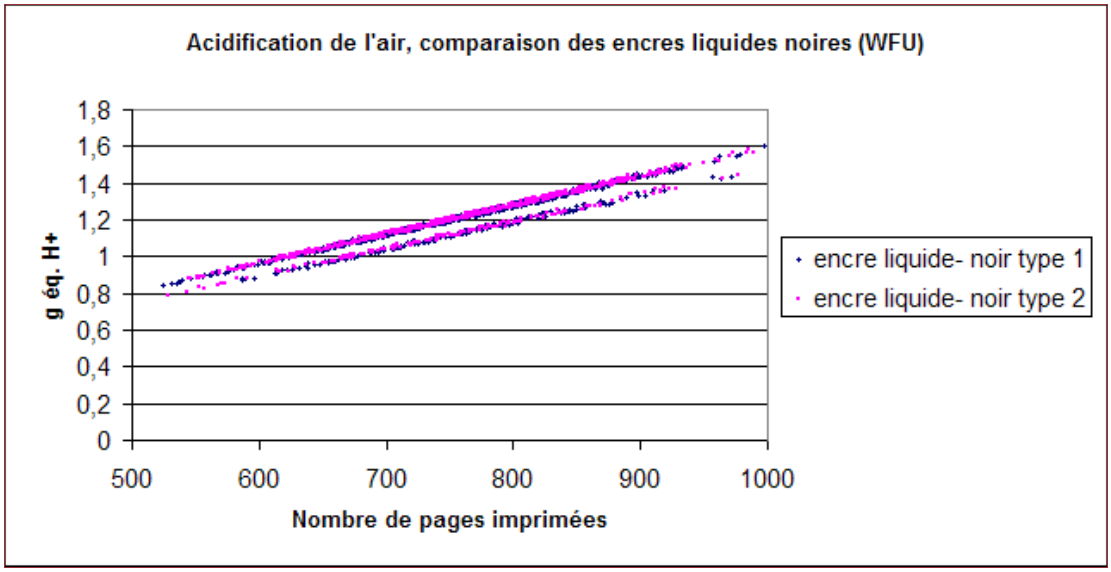


Graphique 10 : Comparaison des encres solides (pour imprimante laser) noires et couleurs au niveau de l'énergie totale consommée par le système en fonction du taux de récupération en fibres.

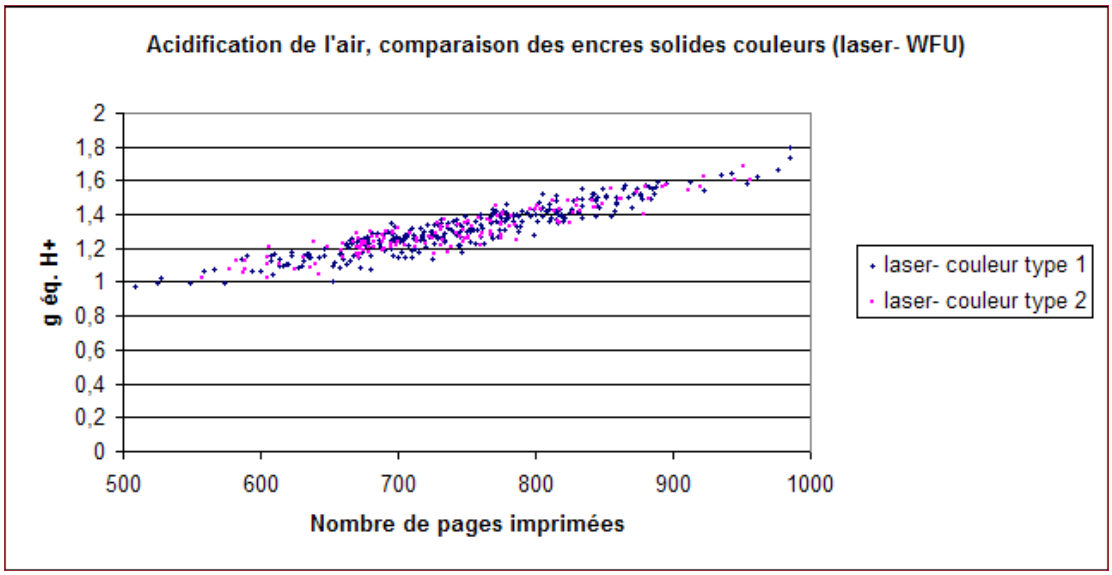


Graphique 11 : Comparaison des encres solides (pour copieur) noires et couleurs au niveau de l'énergie totale consommée par le système en fonction du taux de récupération en fibres.

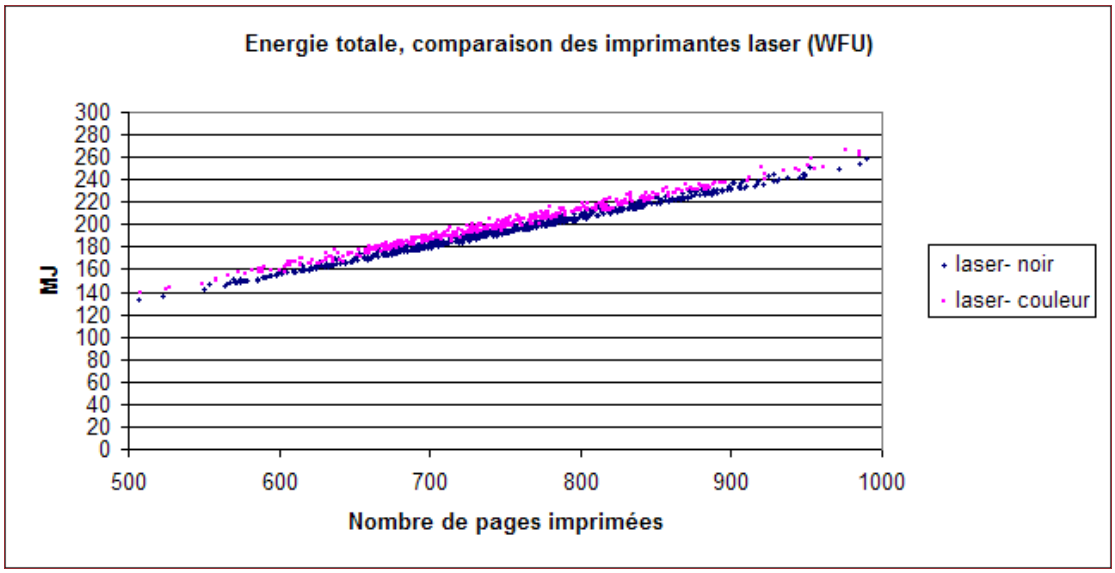
Il est également intéressant de comparer les impacts induits par les composants de l'encre (cf. Graphiques 12 à 14). Pour les mêmes raisons que précédemment, tous les graphiques possibles ne sont pas publiés.



Graphique 12 : Comparaison des encres liquides noires (2 types) au niveau de l'acidification de l'air en fonction du nombre de pages (de papier sans bois et non couché) imprimées.

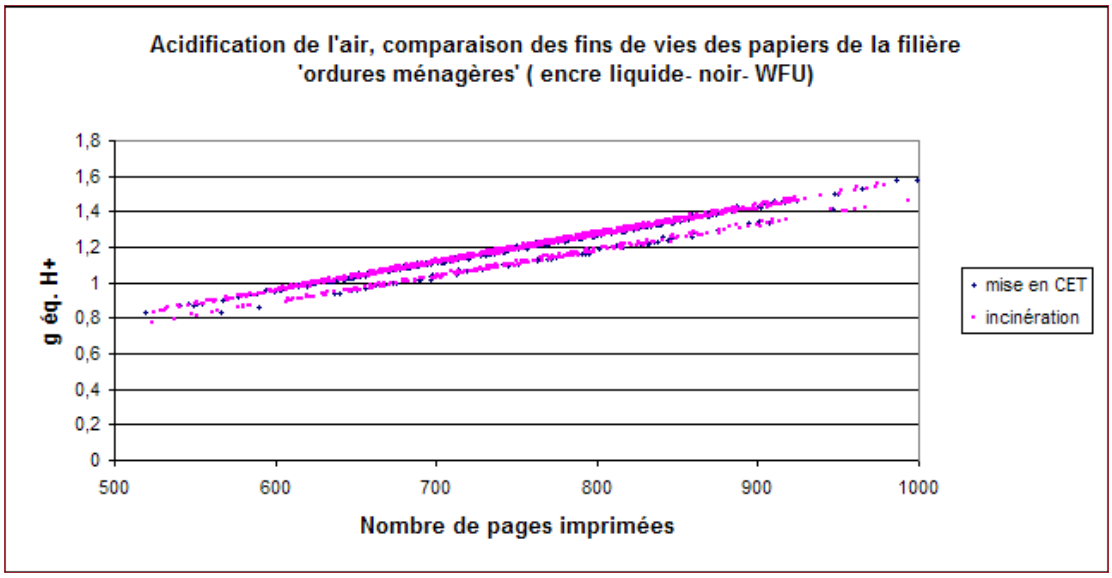


Graphique 13 : Comparaison des encres solides (pour imprimante laser) couleurs (2 types) au niveau de l'acidification de l'air en fonction du nombre de pages (de papier sans bois et non couché) imprimées.

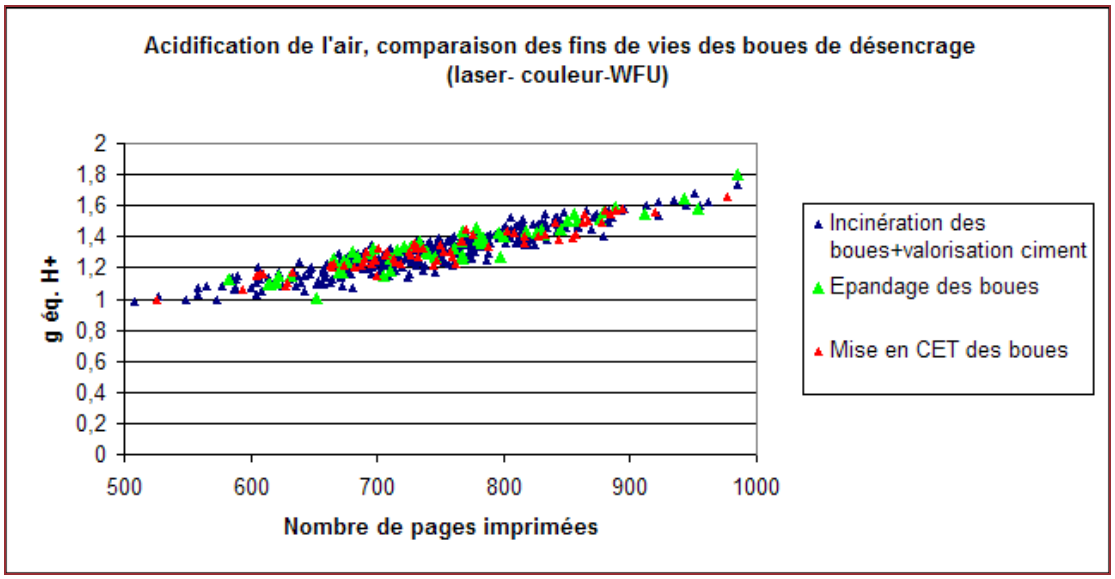


Graphique 14 : Comparaison des encres solides (pour imprimante laser) noires et couleurs au niveau de l'énergie totale consommée par le système en fonction du nombre de pages (de papier sans bois et non couché) imprimées.

Le dernier paramètre à considérer est l'influence de la gestion de fin de vie des déchets incinérés ou mis en CET après collecte des ordures ménagères (cf. Graphique 15), et des boues de désencrage selon que celles-ci sont incinérées (avec valorisation des cendres dans les ciments), épandues sur des surfaces agricoles ou placées en CET (cf. Graphique 16). Pour les mêmes raisons que précédemment, tous les graphiques possibles ne sont pas publiés.



Graphique 15 : Comparaison de la mise en CET et de l'incinération au niveau de l'acidification de l'air en fonction du nombre de pages (de papier sans bois et non couché) imprimées (par un encre liquide noire).



Graphique 16 : Comparaison des impacts au niveau de l'acidification de l'air selon la gestion de fin de vie des boues de désencrage (incinération/épandage/CET) en fonction du nombre de pages (de papier sans bois et non couché) imprimées (par un encre solide couleur).

4.2.6 Interprétation des résultats

4.2.6.1 Interprétation des résultats globaux

4.2.6.1.1 Impacts environnementaux produits par l'acidification de l'air

Les composés principalement impliqués dans cette catégorie d'impact sont (les valeurs sont arrondies au dixième de pourcent) :

- les oxides de soufre (SO_x) à hauteur de 55,9%, dont les procédés majoritairement impliqués dans leur création sont la production d'énergie (24,1%) et la production de papier (28,9%) ;
- les oxides d'azote (NO_x) à hauteur de 40,7%, dont les procédés majoritairement impliqués dans leur création sont la production d'énergie (5,8%), la production de papier (22,2%) et l'incinération du papier (9,0%).

On notera que la production de papier correspond ici à la production de papier sans bois non couché car ils représentent 85% du marché. Les impacts liés à la production des trois autres qualités de papier (5% du marché chacun) sont uniquement négligeables de par la faible quantité de leur production. Cette remarque devra ultérieurement être à nouveau prise en compte dans l'interprétation des impacts considérant ce procédé.

4.2.6.1.2 Impacts environnementaux produits par les gaz à effet de serre

Les composés principalement impliqués dans cette catégorie d'impact sont (les valeurs sont arrondies au dixième de pourcent) :

- le dioxide de carbone (CO_2, d'origine fossile) à hauteur de 77,1%, dont les procédés majoritairement impliqués dans sa création sont la production d'énergie (16,4%), la production de papier (28,3%) et l'incinération du papier (27,5%) ;
- le méthane (CH_4) à hauteur de 22,5%, dont le procédé majoritairement impliqué dans sa création est la mise en CET (18,5%).

4.2.6.1.3 Impacts environnementaux produits par la consommation d'énergie

Les composés principalement impliqués dans cette catégorie d'impact sont (les valeurs sont arrondies au dixième de pourcent) :

- le bois utilisé comme matière première (source de fibres de cellulose) à hauteur de 25,1%, et le bois utilisé comme combustible (source énergétique) à hauteur de 35,2%, tous sont majoritairement issus du procédé de production de papier respectivement pour 22,1% et 31,9% ;
- le gaz naturel (extrait du sol) à hauteur de 19,2%, dont le procédé qui requiert majoritairement son utilisation est la production de papier (15,7%).

4.2.6.1.4 Impacts environnementaux produits par la production de déchets

Les composés principalement impliqués dans cette catégorie d'impact sont (les valeurs sont arrondies au dixième de pourcent) :

- les minéraux (inertes) à hauteur de 37,0%, dont les procédés majoritairement impliqués dans leur création sont la production d'acrylate de styrène (29,7%) et la production d'électricité (7,2%) ;
- les scories et les cendres à hauteur de 12,6%, dont les procédés majoritairement impliqués dans leur création sont la production d'acrylate de styrène (6,3%) et la production de polyéther polyols (4,4%) ;
- les déchets miniers à hauteur de 12,8%, dont le procédé quasiment exclusivement impliqué dans leur création est la production d'énergie (12,8%).

On notera que les valeurs liées à la production d'acrylate de styrène et de polyéther polyols doivent être considérées avec précaution. La méthode utilisée pour le calcul de leurs ICV respectifs induit une incertitude qui ne peut être considérée comme négligeable. Seul l'ordre de grandeur de leur implication dans les impacts sera donc retenu.

.

4.2.6.1.5 Impacts environnementaux déterminés par l'analyse des coûts totaux externes

Pour rappel, cette catégorie d'impact correspond à la monétarisation - en euro - des dommages produits sur l'environnement. Cette évaluation est par conséquent subjective et sujette, plus que tout autre catégorie d'impact, à modification selon l'évolution des critères sociaux considérés comme majeurs à un moment déterminé (e.g. le bruit, l'esthétique, la santé etc.). L'analyse de ces impacts, abstraction faite de leur caractère subjectif, sera strictement limitée dans le temps et l'espace.

Les coûts externes principaux obtenus par cette méthode d'analyse des impacts environnementaux résultent (les valeurs sont arrondies au dixième de pourcent) :

- de l'émission d'oxides de soufre (SO_x) dans l'air (20,7%) ;
- de l'émission de particules dans l'air (19,3%) ;
- de l'émission d'oxides d'azote dans l'air (15,2%) ;
- de l'émission de dioxide de carbone (CO_2) dans l'air (13,1%) ;
- des rejets de phosphates dans l'eau (6,0%) ;
- de la mise en CET (5,7%) ;
- de la DCO (demande Chimique en Oxygène) des rejets dans l'eau (5,3%) ;
- de l'émission de dioxines dans l'air (4,5%) ;
- de l'émission de méthane (CH_4) dans l'air (3,5%).

4.2.6.2 Interprétation des résultats spécifiques à chaque mode d'impression

Cette interprétation va permettre de bien différencier la contribution aux impacts environnementaux des paramètres encodés dans l'ACV comme variables (i.e. sous forme de conditionnelles). Ces variables sont les 4 qualités de papier, les 3 modes d'impression (les compositions des encres, les gestions de fin de vie du papier non récupéré dans la collecte sélective et des boues de désencrage peuvent également être différenciées). Il faut rajouter que selon le choix d'impression, le logiciel est programmé de sorte que le gain apporté par le recyclage varie.

Le graphique 1 considère l'évolution de l'énergie nécessaire pour imprimer 1000 faces de papier A4 à l'aide d'une imprimante à jet d'encre. On ne distingue qu'une légère différence entre l'impression noir et blanc, et couleur. Ce graphique ne constitue qu'un exemple, les résultats sont quasi identiques pour l'impression laser ou copieur.

Les graphiques 1 à 6 ne permettent pas de distinguer de différence marquée entre l'impression noir et blanc, et couleur qu'au niveau de l'effet de serre et des quantités de déchets générés. Pour la quantité de déchets générés, les résultats ne divergent qu'entre les impressions à jet d'encre et les impressions laser ou copieurs (Graphiques 4 et 5).Pour l'effet de serre, on notera que les droites du graphique 3 sont dédoublées car la gestion de fin de vie du papier rentrant de la filiale 'ordures ménagères' implique soit l'incinération, soit la mise en CET. Les impacts que ces deux procédés induisent sur l'effet de serre seront analysés dans l'évaluation des impacts car les différences semblent principalement dépendre du recyclage ou de la valorisation du vieux papier et non de la couleur d'impression. Les graphiques 15 et 16 montrent que l'influence de l'utilisation finale des boues de désencrage est moins marquée que celle répercutée sur l'acidification de l'air ou sur l'effet de serre par l'incinération ou la mise en CET du vieux papier.

Les graphiques 7 et 8 montrent clairement que les impacts liés à la consommation d'énergie dépendent de la qualité du papier imprimé. Logiquement, les papiers sans bois, et les papiers couchés sont plus consommateurs d'énergie de par leur procédé de production. Le papier sans bois couché devrait donc être le plus consommateur d'énergie. Or, ce n'est pas le cas puisque le papier sans bois non couché est le plus consommateur d'énergie. Ce résultat provient du fait que ces graphiques considèrent également le gain provenant de la production de papier recyclé où un papier non couché présente une recyclabilité plus faible. Cependant, ces propos sont à nuancer. Les taux de recyclage des différents papiers ne proviennent pas de données de production, mais d'extrapolation de résultats obtenus par les premières études sur ce sujet, qui ne sont pas clôturées. Il se peut donc que les écarts entre impacts spécifiques pour les diverses qualités de papier soient supérieurs ou inférieurs aux résultats ici obtenus. Cependant, pour l'énergie totale consommée, le papier reste le facteur dominant.

Le graphique 6 démontre que l'on ne peut répondre au titre de l'étude simplement. En effet, les valeurs des impacts imputés à l'impression couleur sont certes souvent supérieures à celles de l'impression noir et blanc, mais pas systématiquement. Les impacts induits par la composition de l'encre interviennent mais semblent contrebalancés par le recyclage, qui est directement lié à cette composition (cf. le type de lien encre-fibre). On notera que ce graphique permet de différencier 6 droites. L'analyse plus poussée montre que la composition de l'encre (cf. Graphiques 12 à 14), la qualité du papier (cf. Graphiques 7 et 8) et le choix entre l'incinération ou la mise en CET (cf. Graphique 15) des vieux papiers non recyclés en sont la cause. Bien entendu, la quantité de fibres de cellulose récupérée (cf. Graphique 9 à 11) et l'utilisation finale des boues interviennent mais de façon beaucoup moins importante (cf. Graphique 16). Ces éléments justifient ce dédoublement (voir triplement) des 'droites'.

Pour rappel, le graphique 16 se base sur des données qui ne peuvent être considérées comme exactement comparables. Celles liées à l'incinération des boues avec valorisation des cendres dans le ciment sont assez complètes alors que celles liées à l'épandage et la mise en CET ne le sont pas. Ceci explique qu'à la lecture de ces graphes, la mise en CET induit des impacts sur l'environnement équivalents aux deux autres procédés. Cependant, ces graphiques ont l'avantage de montrer que ces flux ne constituent pas des points critiques du système.

Tous ces graphiques ne permettent pas de différencier les « habitudes d'impression » lorsque celles-ci « poussent » au choix de l'encre noire ou couleur. Sans pouvoir justifier, étude à l'appui, que le choix d'imprimer recto ou recto verso, avec ou sans fond de page, varie selon la couleur d'impression, on notera que, si c'est le cas, alors l'impression couleur induit clairement plus d'impacts environnementaux que l'impression noir et blanc.

4.2.7 Evaluation des impacts sur l'environnement

Les valeurs totales des impacts sur l'environnement sont reprises pour chacun des procédés dans les tableaux 13 à 17. Elles permettent de cibler les points critiques en considérant les valeurs réelles exprimées dans l'unité de la catégorie d'impact, et les pourcentages du total. Toutes ces valeurs sont des moyennes exprimées en fonction de l'unité fonctionnelle. Elles ne fournissent que des informations sur les impacts environnementaux principaux induits - pour le système étudié – dans l'état actuel du marché de l'impression S.O.H.O.

Résultats finaux bruts (valeurs moyennes)

catégorie d'impact	valeur (g éq. H+)	%
Electricity Europe	3,60E-01	30,908
LDPE production	1,10E-06	9,42E-05
Diesel Oil production	0,001036995	0,08896729
NaOH 50% production	0,009733018	0,83502834
Paper production	0,616935606	52,9289814
Transport (URBAN)	1,75E-02	1,49923246
Incineration - Paper	0,119772094	10,2756509
NH3 production	0,006059052	0,51982644
Landfill - Paper	0,001282752	0,11005161
Deinking + paper production	0,009061044	0,77737745
WFC paper production	0,027847386	2,38912093
WCU paper production	0,025257201	2,16690028
WCC paper production	0,027272189	2,33977285
Recycled paper production (deinking) bis	-0,022305526	-1,91366608
Newsprint production	-0,002169822	-0,18615636
Grey board production	-1,87E-02	-1,60245533
Paper sludge landfilling	4,99E-06	0,00042815
Styrene Acrylate Production	0,010595238	0,90900112
Polyether polyols production	0,002872555	0,24644619
Newsprint production bis	-0,002819894	-0,24192823
Recycled paper production (no deinking)	-0,007892259	-0,67710348
Recycled paper production (deinking) ter	-0,013856717	-1,18881435
Recycled paper production (deinking)	-0,002152254	-0,18464914
Total	1,165591308	100%

Tableau 13. Acidification de l'air

catégorie d'impact	valeur (g éq. H+)	%
Electricity Europe	1767,320481	18,21495
LDPE production	0,004897987	5,05E-05
Diesel Oil production	16,8944008	1,74E-01
NaOH 50% production	24,26827643	0,25012186
Paper production	2933,700959	30,236294
Transport (URBAN)	54,62116522	0,562955
Incineration – Paper	2665,771155	27,4748659
NH3 production	19,94316645	0,20554496
Landfill – Paper	2000,233392	20,6154771
Deinking + paper production	50,28587124	0,51827313
WFC paper production	118,9562037	1,22602637
WCU paper production	82,49574894	0,85024539
WCC paper production	158,3160283	1,63168982
Recycled paper production (deinking) bis	-63,45038745	-0,65395369
Newsprint production	-7,066878908	-0,07283504
Grey board production	-38,56252807	-0,39744608
Paper sludge landfilling	40,75729672	0,42006654
Styrene Acrylate Production	52,28503328	0,53887757
Polyether polyols production	1,131354314	0,01166034
Newsprint production bis	-9,184094271	-0,0946562
Recycled paper production (no deinking)	-120,6012182	-1,24298077
Recycled paper production (deinking) ter	-39,41687218	-0,4062514
Recycled paper production (deinking)	-6,122311378	-0,06309982
Total	9702,581141	100%

Tableau 14. Effet de serre

catégorie d'impact	valeur (MJ)	%
Electricity Europe	21,27225501	11,5725128
LDPE production	0,000199103	0,00010832
Diesel Oil production	0,788295791	0,42884796
NaOH 50% production	0,432746036	0,23542211
Paper production	146,5987306	79,7525082
Sorting - old paper	0,091966674	0,05003163
Incineration - Paper	0,149309188	0,08122705
NH3 production	0,306976233	0,16700093
Landfill - Paper	0,001307622	0,00071137
Deinking + paper production	3,633275885	1,97657145
WFC paper production	5,279733255	2,87227569
WCU paper production	4,950347653	2,69308363
WCC paper production	6,065191583	3,29958001
Recycled paper production (deinking) bis	-1,465511039	-0,79726598
Newsprint production	-0,317550925	-0,17275377
Grey board production	-6,76E-01	-3,68E-01
Paper sludge landfilling	3,76E-05	2,04E-05
Newsprint production bis	-0,412688214	-0,22451027
Recycled paper production (no deinking)	-1,829412367	-0,99523525
Recycled paper production (deinking) ter	-0,910409906	-0,49528037
Recycled paper production (deinking)	-0,141406779	-0,07692799
Total	183,8170784	100%

Tableau 15. Energie totale

catégorie d'impact	valeur (kg)	%
Electricity Europe	0,574857477	30,4090068
LDPE production	7,89E-08	4,17E-06
Diesel Oil production	0,000100248	0,00530296
NaOH 50% production	0,001528462	0,0808531
Paper production	0,247814028	13,108951
NH3 production	8,10E-05	0,00428333
Deinking + paper production	0,012598359	0,66643227
WFC paper production	0,04636843	2,45281304
WCU paper production	0,037520274	1,98476027
WCC paper production	0,070493795	3,72900482
Recycled paper production (deinking) bis	-0,034833558	-1,84263742
Newsprint production	-0,000578668	-0,0306106
Grey board production	-0,00097189	-0,05141135
Styrene Acrylate Production	0,762018039	40,3094901
Polyether polyols production	0,205387948	10,8646817
Newsprint production bis	-0,000752036	-0,03978144
Recycled paper production (no deinking)	-6,21E-03	-3,29E-01
Recycled paper production (deinking) ter	-0,021639425	-1,14468968
Recycled paper production (deinking)	-0,003361081	-0,17779561
Total	1,890418456	100%

Tableau 16. Déchets municipaux industriels et inertes

catégorie d'impact	valeur (kg)	%
Electricity Europe	0,134994918	17,6118099
Epandage agricole	3,75E-07	4,90E-05
LDPE production	5,46E-07	7,13E-05
Diesel Oil production	0,000671625	0,08762211
NaOH 50% production	0,00446477	0,58248625
Paper production	0,363510157	47,4245392
Transport (URBAN)	0,007623052	0,99452444
use of deinking sludges for cement	0,034636773	4,51880908
Incineration - Paper	0,083669385	10,9157391
NH3 production	0,001869294	0,24387331
Landfill - Paper	0,064477205	8,41187429
Deinking + paper production	0,051964093	6,77937913
WFC paper production	0,014107649	1,84052288
WCU paper production	0,012542697	1,63635494
WCC paper production	0,015960415	2,08223982
Recycled paper production (deinking) bis	-0,01104691	-1,44121045
Newsprint production	-0,000989313	-0,12906849
Grey board production	-0,006217079	-0,81109732
Paper sludge landfilling	0,001317955	0,17194403
Styrene Acrylate Production	0,003646497	0,47573212
Polyether polyols production	0,002404891	0,31374875
Newsprint production bis	-0,001285708	-0,16773702
Recycled paper production (no deinking)	-0,003892532	-0,50783042
Recycled paper production (deinking) ter	-0,0068626	-0,89531381
Recycled paper production (deinking)	-0,001065914	-0,13906202
Total	0,766502243	100%

Tableau 17 : Coûts externes totaux – évalutation directe et indirecte

Les valeurs dont la participation, pour chaque catégorie d'impacts, est supérieure à 1% du total sont soulignées. On remarque que les gains environnementaux (valeurs négatives résultantes du choix de la méthode d'ACV par substitution) proviennent du recyclage du vieux papier. Selon la qualité du papier (ou carton) ainsi recyclé, ce procédé permet de diminuer jusqu'à 2% les impacts environnementaux pour un recyclage spécifique. La somme des gains de recyclage atteignent 5% dans le cas des impacts liés à l'acidification de l'air.

L'analyse des impacts liés à l'effet de serre, l'acidification de l'air et l'énergie total consommée montre des résultats assez semblables dans le sens où les procédés critiques sont similaires. Les productions des diverses qualités de papiers, la production d'électricité, l'incinération et le recyclage du papier génèrent à eux seuls la grande majorité des impacts (exception faite de la mise en CET et du transport respectivement pour les catégories 'effet de serre' et 'acidification de l'air'). On notera particulièrement que la production du papier (toutes qualités confondues) est responsable de plus de 90% des coûts énergétiques du système.

Ces résultats sont modifiés dans l'analyse des impacts liés aux déchets où les productions d'acrylate de styrène et de polyéther polyols engendrent à elles seules plus de 50% des impacts de cette catégorie. Il a déjà été mentionné que les valeurs encodées pour ces procédés sont peu fiables. Cependant, on ne peut négliger leur importance, juste en atténuer l'intensité. Ces composés sont spécifiques aux encres solides – et donc aux imprimantes laser et aux copieurs - et permettent

d'extraire un premier point différenciant le choix de l'encre à l'impression, même si cette information ne permet pas de comparer l'encre noire et l'encre couleur (ces composés sont communs aux deux). Les productions d'encres liquides émettent donc moins déchets (leur solvant étant de l'eau), mais réduisent considérablement l'efficacité du procédé de désencrage. D'une part, la quantité de papier récupérée par recyclage est moindre lorsque l'impression se fait à l'encre liquide, donc il y a perte d'énergie puisque la production de papier est énergivore, mais d'autre part il y a gain d'énergie puisque moins de déchets à traiter. Puisque la production de carton ne nécessite pas de désencrage, on pourrait imaginer que recycler le papier imprimé à l'encre liquide soit la solution. Malheureusement, il faudrait alors effectuer le tri des papiers en fonction de l'encre imprimée (ce qui semble irréaliste, ou alors il faudrait demander aux utilisateurs de trier leurs papiers!), et la perte de fibres de qualités ce qui induirait une pénurie accrue de fibres recyclables. On en revient alors au point de départ.

Finalement, les coûts totaux externes sont intéressants dans le sens où ils mettent en avant les facteurs qui, s'ils ne sont pas gérés dans une optique de développement durable, pourraient devenir les talons d'Achille de ce secteur de l'impression S.O.H.O. On retrouve les procédés précédemment cités dans les paramètres majeurs (i.e. la production des papiers, d'électricité, le recyclage, l'incinération et la mise en CET du papier), mais aussi l'incinération des boues de désencrage. Il est donc regrettable que les autres modes de valorisation de ces boues ne puissent y être comparés par manque de données. On notera que la part de la production de papier dans cette catégorie d'impact par rapport à l'énergie totale consommée chute fortement (diminution de +/- 35%), et que la mise en CET (8,4%) et l'incinération (10,9%) des papiers non repris dans la collecte sélective constituent les éléments au niveau desquels il serait possible d'agir efficacement. Leur somme atteint près de 20% des impacts, donc l'amélioration de la collecte sélective non seulement diminuerait les impacts y liés, mais aussi augmenterait le taux de papier recyclé et les gains répercutés sur toutes les autres catégories d'impacts (principalement sur l'effet de serre où ils interviennent pour 27,5% et 20,6%). On peut donc conclure que, au regard des coûts externes totaux vis-à-vis des autres catégories d'impacts, ce n'est pas la production de papier qui pose problème, mais bien son taux de récupération et donc de recyclage.

4.2.8 Pistes d'améliorations

La recherche d'améliorations d'une étude s'oriente vers les lacunes de connaissances qui limitent les conclusions tirées des résultats. Bien entendu il est des améliorations triviales, directement liées soit au manque de données, soit à la nature et la fiabilité des données recueillies. C'est notamment le cas de la composition des encres, de la production des cartouches et de leurs recyclages. Il serait intéressant de pouvoir évaluer l'influence de la production des cartouches dans l'énergie total consommée par le système. Cependant, si on accepte de considérer le système étudié comme une représentation acceptable de la réalité de l'impression S.O.H.O. en Europe, ce sont certains procédés très ciblés de l'ACV qui permettraient d'en augmenter considérablement la qualité.

L'épandage et la mise en CET des boues de désencrage et résiduelles des procédés de recyclage du papier en général ne constituent que des alternatives limitées dans le temps et la zone géographique considérée. Puisque le marché du papier est mondialisé, il serait nécessaire d'étudier la gestion de fin de vie de ces boues en fonction des pays présentant un solde d'importation de vieux papiers positif, où les flux de déchets générés le sont en quantités importantes et donc où les technologies industrielles « devraient » être les plus efficaces.

Lorsque les études spécifiques au désencrage du papier imprimé à l'aide des encres d'impression S.O.H.O. auront abouties (cf. [5]), les taux de récupération des fibres considérés dans ce travail-ci devraient être ajustés de sorte à bien définir l'importance du recyclage dans le cycle de vie du papier.

Les « habitudes d'impression » constituent l'un des paramètres qui fut rapidement ciblé comme déterminant. Evidemment, l'acquisition de données y liées fut pénible et inefficace, et ce, principalement parce que ces données sont changeantes et dépendantes d'un large panel de facteurs. Selon la fonction d'une imprimante (d'appoint, d'archivage, pour les photos,

professionnelle au bureau ou éventuellement à la maison, etc.), les habitudes des utilisateurs (pourcentage d'impression noir et blanc ou couleur, de recto verso etc.) sont extrêmement variables. Les données, quand elles existent, sont focalisées sur la fonction de l'utilisation finale. Obtenir des informations globales – pour l'Europe - sur un marché formé d'une multitude de « sous marchés » très spécifiques, constitue un véritable défi. Sur ce point, une étude visant un objectif similaire devrait gérer ces données « sous-secteur par sous-secteur », tout en définissant des régions strictes ou les « habitudes d'impression » sont homogènes. Par la suite seulement, le regroupement des résultats apporterait des informations sur les « habitudes moyennes d'impression » en Europe.

Les facteurs liés aux conséquences sur la santé humaine (i.e. les facteurs toxicologiques) et écotoxicologiques de la production des composés des encres, des produits entrant dans la fabrication du papier, de son blanchissement, ou de l'utilisation des imprimantes n'ont pas été explorés. Or ils pourraient ne pas être négligeables dans la catégorie d'impact 'coûts externes totaux'. La littérature rapporte des émissions d'ozone des copieurs en fonctionnement. Les données toxicologiques et écotoxicologiques du copolymère d'acrylate de styrène considèrent ce composé comme peu nocif, mais recommandent cependant de suivre les précautions d'usage (placer l'imprimante dans un local ventilé, effectuer sa maintenance avec des gants etc.) à son contact [48]. De multiples molécules (ou éléments) directement liés à - ou périphériques de - l'impression S.O.H.O. sont susceptibles d'induire des risques toxicologiques. Aucune molécule en particulier n'a attiré notre attention, mais ce sujet n'a pas été traité et seule une étude épidémiologique – sans doute prospective - permettrait de s'assurer que l'évolution des pratiques d'impression en relation avec les nouveaux produits du marché ne présente pas de risque. On pense particulièrement à la toxicité à long terme, où certains composés volatilisés lors de l'impression de l'encre pourraient se comporter comme des toxiques à accumulation matérielle ou fonctionnelle.

5 Conclusions et recommandations

Avant toute approche terminale des résultats de l'étude, on rappellera avec force que des conclusions, quelles qu'elles soient, n'aboutissent qu'à l'acquisition de connaissances directement liées aux hypothèses du système étudié. L'exclusion de certains procédés, produits, intrants, etc. implique un 'devoir de réserve' résultant de l'incertitude (i.e. l'erreur relative) que « ses » données manquantes – ou considérées comme négligeables – induisent. En accord avec ce principe, il est évident que les conclusions tirées ici considèrent qu'elles ne le sont que dans le cadre strict du système défini (cf. § 4.2.2). Il n'est donc pas inutile de rappeler les approximations, et hypothèses majeures qui spécifient ce travail :

1. La qualité et la quantité des encres étudiées sont établies par des données de sources variables (i.e. divers producteurs). Aucun élément ne permet d'affirmer que ces données représentent avec précision tant leur quantité couchée sur papier, que l'ensemble de leur composition sur le marché actuel.
2. Les ICV de la production des diverses qualités de papier, de leur incinération, de la mise en CET du vieux papier, du procédé de désencrage, de la production d'électricité, du tri sélectif et de l'épandage sont issus d'études datant d'une période allant de 1996 à 2003. Rien ne permet d'affirmer que l'évolution rapide des technologies dans le secteur particulier de l'impression S.O.H.O. ne puisse modifier significativement les résultats, même globaux, de l'étude.
3. Le calcul de l'ICV de la production d'acrylate de styrène, composé souvent présent – en molalité non négligeable – dans les encres solides est effectué par « supputation » de son mode de production. Egalement, les ICV des solvants à base d'alcool sont considérés comme identiques à l'ICV du polyéther polyol. Un bémol particulier devra être apporté à toute conclusion se rattachant à ces composés.
4. Certains procédés qui, théoriquement, devraient figurer dans l'ACV ne s'y trouvent pas. Soit les données s'y rattachant n'ont pu être recueillies – il s'agit de la production d'engrais de composition similaire aux boues de désencrage autorisées pour l'épandage et des ICV des productions d'imprimantes et de cartouches -, soit le manque de connaissances de ce secteur de l'impression S.O.H.O. a provoqué l'oubli de procédés.

Dans la mesure du possible, des recoupements entre sources d'information furent pratiqués afin d'en contrôler la précision, ou tout du moins l'ordre de grandeur. De plus, les données utilisées proviennent exclusivement de sources scientifiques, de producteurs ou d'acteurs industriels du secteur de l'impression S.O.H.O. ou y liés.

Le but premier de ce travail était de déterminer laquelle de l'impression noir et blanc ou couleur induit le plus d'impacts sur l'environnement. Afin de bien concevoir l'approche de l'étude, il est fondamental de bien nuancer cet objectif car selon la catégorie d'impact considérée, l'une ou l'autre peut constituer l'option la plus avantageuse. Le facteur 'couleur de l'encre' ne suffit donc pas seul à paramétrer le système étudié. En effet, un rapide survol du secteur de l'impression S.O.H.O a permis de comprendre que les impacts n'étaient pas uniquement reliés à la constitution des encres, à la production des pigments entrant dans leurs compositions etc., mais que les propriétés de l'encre lorsque ses composants volatils sont évaporés après son dépôt sur le papier (i.e. les propriétés du papier imprimé), influencent grandement le taux de recyclabilité du papier. Les impacts sur le cycle de vie sont donc modifiés, et ce malgré que l'encre ne soit plus l'élément analysé. Egalement, les boues résiduelles après désencrage du papier verront leurs compositions influencées non seulement par les éléments constitutifs de l'encre avant impression, mais aussi par la quantité de fibres de cellulose y étant restée attachée (selon la force et le type du lien 'encre-fibre'). En bref, l'encre et le papier induisent des impacts environnementaux qui sont fonction des propriétés physico-chimiques du papier imprimé. Etudier l'un sans l'autre biaiserait de manière significative les résultats de l'étude et donc diminuerait le degré de liberté de l'auteur pour tirer ses conclusions. A ces facteurs il faut rajouter l'influence des « habitudes d'impression » de l'utilisateur, qui, s'il décide d'imprimer en couleur risque de ne pas imprimer recto verso (la quantité d'encre faisant onduler le papier) et d'ajouter un fond de page (pour des raisons esthétiques) et donc d'augmenter respectivement la consommation de papier et d'encre. Comme il a déjà été souligné, selon l'utilisation finale du papier imprimé, les impacts environnementaux peuvent varier grandement puisque les propriétés physico-chimiques du papier imprimé

changent. Il est regrettable que ce travail ne puisse quantifier (par manque de données) l'influence de ces « habitudes d'impression » sur les résultats finaux obtenus.

Les résultats de cette étude aboutissent aux conclusions suivantes :

1. L'énergie totale consommée par le système dépend directement du paramètre 'qualité de papier'. Il y a compensation entre les impacts issus des productions de papiers et ceux évités grâce au recyclage. Le papier le plus utilisé (sans bois non couché) présente les résultats les moins « écologiques », et ce pour tous les impacts considérés. Or, c'est la plus couramment utilisé (85% du marché!). Hormis cet élément, pas de différence remarquable pour l'énergie totale consommée - entre couleurs des encres, imprimantes ou copieurs - n'est constatée.
2. L'acidification de l'air ne dépend guère de la composition ou couleur des encres. Tout au plus peut-on observer que pour les encres liquides à base d'eau, c'est la filière suivie pour la gestion des vieux papiers qui oriente les résultats, conséquence logique d'un recyclage qui ne permet pas de compenser les impacts de l'incinération ou de la mise en CET. Les différences entre résultats pour l'utilisation finale des boues résiduelles de recyclage sont sujettes à incertitude des données. Cette étude ne permet pas de les différencier.
3. L'effet de serre (à 100 ans) présente un impact dépendant de la mise en CET ou de l'incinération du papier non recyclé, indépendamment de la composition ou de la couleur de l'encre.
4. Les déchets générés différencient les impacts selon la couleur d'impression. C'est l'impact ou la couleur de l'encre intervient le plus. Les encres liquides à base d'eau génèrent peu de déchets (particulièrement l'encre noire), contrairement aux encres solides génératrices de déchets (issus de la production de leurs solvants). Les encres couleurs sont environnementalement beaucoup moins avantageuses que les encres noires à ce niveau. On notera cependant qu'une encre liquide couleur génère moins de déchets qu'une encre solide noire.
5. Les coûts externes totaux démarquent 6 modes d'impressions divergeant selon : la couleur de l'encre, la gestion des papiers dans les ordures ménagères et des taux de recyclage. La gestion des boues de désencrage intervient mais son importance est beaucoup moins marquée, du moins pour les données considérées.

En conséquence :

- L'amélioration des impacts liés à l'acidification de l'air et de l'effet de serre du système passe par une croissance du taux de collecte des vieux papiers. Ce taux est approximé par le CEPI à 45 % pour la moyenne européenne de 2002. Il ne faut pas oublier cependant que l'amélioration de ce taux diminuerait la qualité des vieux papiers puisque les fibres ne sont pas recyclables à l'infini. Selon les études, une fibre peut être recyclée de 2 à 7 fois. Les coûts de transport régulent l'avantage de la collecte, et démontrent que la celle-ci ne constitue pas une solution globale, du moins si la demande en papier continue à croître.
- Les déchets produits par les encres solides sont compensés par l'amélioration de leur taux de recyclage. Il y déplacement des impacts sur l'effet de serre et l'acidification de l'air. Il s'agit d'un problème nécessitant une analyse multicritères, le choix doit être établi selon les objectifs environnementaux prioritaires.
- Dans l'état actuel du marché, les encres couleurs semblent légèrement « moins écologiques » que les encres noires, mais pas de façon systématique puisque le type d'encre constitue un paramètre important. De plus, si l'on considère l'ensemble des catégories d'impacts, la différence semble non significative (une étude statistique serait nécessaire pour mieux définir cette évaluation).
- La production de papier est effectivement responsable majoritairement des impacts environnementaux, mais cela ne signifie pas que c'est à ce niveau que des améliorations technologiques diminuant les impacts (ou les intrants) puissent apporter les meilleures solutions dans le cycle de vie du papier imprimé.

La catégorie d'impact 'effet de serre' considérée dans ce travail est planifiée sur 100 ans, elle reflète une perspective à long terme. Les résultats obtenus montrent que 77,1% des impacts de cette catégorie proviennent de l'émission de CO_2. Le lien

entre la déforestation pour la production de papier (procédé premier créateur d'impacts) et l'effet de serre est trivial. Les arbres jouent un rôle primordial dans notre écosystème terre, ils produisent de l'oxygène, absorbent du dioxide de carbone, mais aussi freinent le ruissellement de eaux, servent de niches écologiques, etc. De prime abord, l'augmentation des taux de collecte sélective des vieux papiers - suivi d'un tri et recyclage optimisés - semble le moyen logique de diminuer l'effet de serre et de combler une industrie papetière alarmée par la pénurie croissante de vieux papiers – ou plutôt de fibres recyclées. Selon la qualité du papier (ou carton) ainsi recyclé, ce travail considère que l'on peut diminuer jusqu'à 2% les impacts environnementaux pour un recyclage spécifique. La somme des gains de recyclage atteignent 5% dans le cas des impacts liés à l'acidification de l'air. Un recyclage efficace pourrait donc théoriquement compenser un procédé de production de papier induisant des impacts environnementaux supérieurs mais fabricant un produit de meilleure recyclabilité. L'optimisation environnementale d'un procédé de production de papier devrait tenir compte de cet élément. Mais cette analyse naïve oublie d'aller à l'essentiel. Le but final est, dans ce cas-ci, de diminuer la production de gaz à effet de serre. Or, ces gaz sont fortement liés à la production d'énergie, nécessaire dans chacune des étapes de tri, au transport, à la manutention, etc. Sans simplifier à outrance les conclusions, nous dirons que l'augmentation du recyclage est une piste acceptable, mais pas à n'importe quels coûts (environnementaux). On rajoutera qu'une ACV comparative entre filières 'fibres vierges' et 'fibres recyclées' serait nécessaire. Hormis la nécessité d'intégrer l'ensemble des procédés spécifiques à chacune, celle-ci devra quantifier les fonctions secondaires des arbres (esthétique, rétention des eaux, etc.) et donc insérer des critères subjectifs, mais réels, et dont l'importance est variable dans l'espace et le temps …

Certaines encres sont déjà réutilisées après désencrage, technologie déjà appliquée au papier journal. Les travaux traitant de ce sujet démontrent que les avantages sont d'ordres économiques (retour sur investissement évalué à 5 ans) mais aussi environnementaux [8]. Si la recherche et le développement, appliqués à ces types d'encres et de papiers, venaient à s'orienter également vers l'impression S.O.H.O., cela pourrait apporter une solution globale à la réduction de nombreuses incidences. Les solvants des encres solides produisent beaucoup de déchets rendant les encres liquides à base d'eau plus écologiques, par contre leurs colorants logiquement hydrophiles ne sont quasi pas désencrables par flottation (procédé de désencrage en solution aqueuse par bullage d'air, cf. § 3.6). L'idéal serait donc de pouvoir développer des encres à base d'eau ayant soit acquis un caractère hydrophobe durant le séchage – mais cette solution semble chimiquement peu réaliste – soit développer des papiers permettant de limiter l'énergie de liaison entre les molécules restant sur la fibre. Ce qui sous entend un papier couché recouvert de composés spécifiques à un type d'encre et permettant de limiter le lien entre les composés de la couche et les fibres. Mais à nouveau une ACV serait nécessaire pour déterminer l'ensemble des impacts environnementaux induits par les productions connexes, ainsi que les « nouveaux » taux de récupération en fibres! Ou alors, tout simplement considérer que les encres et papiers comme des produits dont les impacts de production sont minimum dans l'état actuel de leurs pratiques industrielles, et que l'effort doit être effectué là où le bât blesse, c'est-à-dire au niveau du procédé de désencrage. Sans doute la solution optimum se situe-t-elle dans l'amélioration de tous ces facteurs, ce qui nécessite la coopération entre les producteurs d'encres, de papiers et recycleurs.

Il ne faut pas perdre de vue que le recyclage du papier n'est finalement pas une fin en soi. Même en partant de l'hypothèse que la déforestation est une menace environnementale que le principe de précaution justifie comme ne pouvant souffrir d'aucune hésitation, le bois n'est pas la seule source de fibres sur terre. De nombreuses autres plantes « font également l'affaire », le panel s'étend de l'eucalyptus jusqu'aux bananes!!! Evidemment, si une autre source de fibres devenait rentable et utilisable industriellement (en quantités suffisantes pour alimenter le marché), c'est encore et toujours l'analyses des flux dans une ACV qui seule pourra permettre de calculer le bilan total en CO_2 (entre autre) de l'hypothétique nouvelle production de papier. La pierre angulaire du problème étant le coût de revient de la tonne de papier, il semble peut probable que le marché évolue dans ce sens, à moins que des législations (incitants, nouvelles normes, etc.) ne viennent réorienter ce marché. Dans cette optique, la politique intégrée des produits de la Commission semble être l'outil, naissant et théorique pour le moment, qui permettrait la meilleure homogénéisation de l'internalisation des coûts environnementaux plutôt que de cibler alternativement tel ou tel secteur, industriel ou non, selon le hasard des priorités politiques du moment. Puisque *« le scientifique répond aux questions quand il sait, alors que le politique quand il doit »*, il serait temps de poser les bonnes questions! Car enfin, si il y a pénurie de vieux papiers, c'est bel et bien parce que le recyclage est en hausse, et celui-ci est

en hausse car la fibre recyclée est économiquement avantageuse par rapport à la fibre vierge. Si l'on considère que le recyclage des vieux papiers constitue une alternative environnementalement acceptable, voir avantageuse sans être la panacée environnementale, ne serait-il pas prioritaire de profiter de cette « concordance de phase » entre les facteurs économiques et environnementaux dans un secteur en pleine expansion pour s'assurer de sa continuité? Si les quantités et qualités de vieux papiers venaient à diminuer de façon suffisamment significative pour réorienter le secteur papetier vers d'autres matières premières (secondaires ou non), et étant donné la faible probabilité actuelle de réussite des tentatives de dématérialisation des bureaux, qui sait comment évolueront alors les pratiques industrielles? Sans tirer de conclusion hâtive, il faut remarquer que, si le recyclage n'est effectivement pas une fin en soi, c'est jusqu'à présent le seul procédé fournissant une « assurance de stabilité environnementale » pour la gestion de flux importants de vieux papiers. Si la technologie ne permet pas un recyclage en boucle fermée, une politique basée sur le principe de proximité et de responsabilisation du citoyen, pourrait par contre permettre de créer un cycle de vie des fibres de cellulose en boucle « quasi » fermée.

A la question : « L'impression couleur induit-elle plus d'impacts environnementaux que l'impression noir et blanc? », on peut répondre que, à quantité égale d'encre et de papier, il n'y a pas véritablement de différence selon la couleur de l'encre utilisée pour imprimer (dans l'état actuel du marché), mais que, selon la gestion de fin de vie du papier imprimé devenu vieux papier, les impacts environnementaux seront d'autant plus élevés que l'on imprime à l'aide d'encre solides si le papier n'est pas repris dans la collecte sélective et ensuite recyclé. Ces impacts seront d'autant plus accentués que le papier est de haute qualité (sans bois et/ou couché). En conséquence, si l'on part de l'hypothèse que le papier ne sera pas recyclé, les encres liquides sont à recommander. Par contre si le papier suit la filière de la collecte sélective, seul le paramètre 'qualité papier' différencie les impacts environnementaux. La qualité de papier 'sans bois et non couché ' étant la moins écologique, et les autres plus ou moins équivalentes.

L'analyse des résultats de cet ACV et plus largement du secteur de l'impression S.O.H.O. amène aux recommandations suivantes :

- Les pistes pour l'amélioration de la collecte sélective des vieux papiers doivent être explorées. L'application du principe de proximité justifie un transport minimal et donc la priorité à l'approvisionnement local. En parallèle, il faut tenter d'expliciter les raisons pour lesquelles certains vieux papiers ne sont pas récupérés, et dans le cas où cette option ne convenait pas, si l'énergie issue de la combustion des vieux papiers peut rivaliser avec un autre type d'énergie. Dans ces deux cas, la collecte sélective est une condition sine qua non.

- L'application effective des principes définis dans la politique intégrée des produits permettrait de rendre le recyclage du papier plus efficace, mais cette amélioration passe obligatoirement par la concertation des producteurs de papiers, d'encres et d'imprimantes. Minimiser les impacts, sans modifier les équilibres économiques du secteur passe par la collaboration des producteurs dès la conception des produits et donc aussi par l'abandon des secrets de production. Réaliste? Si cette approche n'aboutit pas, constituer alors une réglementation (environnementale) se basant sur l'internalisation de tous les coûts induits par la production, le transport, l'utilisation, et la gestion de fin de vie du produit.

- Pousser à la recherche et au développement d'encres aux propriétés physico-chimiques améliorées au niveau de leurs concentrations en solvants, de leur température de séchage (et donc de l'intensité de leur « encrage » dans le papier), de leur hydrophobicité (lors de leur désencrage), etc. En parallèle, optimiser la protection du papier vis-à-vis des encres de sorte qu'une profondeur minimale de sa surface soit « encrée », ce qui diminuerait la quantité de fibres « perdues » lors du désencrage.

- Informer et éduquer la population sur la situation actuelle de pénurie de vieux papiers. La dématérialisation est une philosophie qui ne s'intègrera que lentement dans les mentalités car les personnes ne se sentent pas directement concernées par ce problème. L'ordinateur est un objet idéal pour stocker du texte, il faut mettre en avant cet avantage et non souligner les progrès des technologies d'impression. Paradoxalement, c'est le

développement de l'outil informatique qui génère la croissance du secteur de l'impression S.O.H.O., alors que c'est celui-là même qui constitue la solution adéquate à la dématérialisation des bureaux.

Ces recommandations seraient relativement aisées à mettre en oeuvre, mais leur application serait-elle rentable pour les entreprises? Un consensus de l'ensemble du secteur est-il imaginable? Les choix environnementaux ne sont déjà pas évidents, leurs conséquences économiques et sociales complexes. Afin de ne pas commettre d'erreur dans les orientations futures du secteur papetier, l'analyse multicritères semble l'outil idéal, permettant d'intégrer approches quantitatives et qualitatives, pour aider à la prise de décisions s'inscrivant dans le concept de développement durable.

6 References

[1] Special Recycling 2001 Statistics (October 2002), Big jump in 2001 recycling rate; CEPI.

[2] The FIPP/FAEP Handbook on Magazines and Environment; 1998.

[3] Strategy on recycling: the paper industry's point of view (the CEPI's Contribution to the Thematic Strategy on Waste Recycling); CEPI.

[4] Bilan environnemental sur les filières de recyclage : l'état des connaissances ACV; Co-édition ADEME / BIO Intelligence Service ; mai 2002.

[5] Bruno Carré & Laurence Magnin, "Task force for the Deinking of Digital Prints". CTP Project FR0200- INGEDE project CTP 83 02; INGEDE Symposium, January 30th 2003.

[6] Dr. Bruno Carré (mars 2003). Communication personnelle ; Centre Technique du Papier (CTP, Grenoble).

[7] Axel Fischer (avril 2003). Communication personnelle ; INGEDE.

[8] Arun R. Gavaskar, Robert F. Olfenbuttel, Jody A. Jones (1993), "On-Site Waste Ink Recycling : Technology Evolution Report".

[9] Guide des consommables et des fournitures pour les gammes d'imprimantes, de télécopieurs et de copieurs personnels Canon; septembre 2001.

[10] M. Frithjof Vorrath (avril 2003). Communication personnelle. Business Development Manager, UPM-Kymmene, DIGI Competence Centre.

[11] Etude du Conseil de l'Environnement des Emballages de Papier et de Carton (CEEPC, Canada) ; 1995 – www.ceepc.org

[12] M. Esa Hyvärinen (Mai 2003). Communication personnelle; Directeur Recyclage du CEPI.

[13] Martin Kay, "Development of waste management options"; Pira.

[14] F. Guillet, "Land application of pulp and paper industry sludge"; CTP.

[15] T. Arrouge, C. Moresoli and G. Soucy (1998), "Primary And Secondary Sludge composting: a Technico-Economical study"; 84th Annual Meeting, technical Section CPPA.

[16] Document de l'ADEME sur le compostage - www.ademe.fr

[17] Steffen, R.; Szolar, O. and Braun, R. (1998), "Feedstocks for Anaerobic Digestion"; Institute for Agrobiotechnology Tulln University of Agricultural Sciences Vienna.

[18] Cellucrete Project Proposal. Office of Industrial Technologies. Energy Efficiency and Renewable Energy U.S department of energy; October 2000.

[19] Murr J and Biener C (1997), " Utilisation of sludge and rejects : PTS point of view".

[20] P. Wlliams (2001), " Waste Incineration strategy developments"; Environment Agency Website News Article.

[21] "An Innactive Energy-Saving Project That Could Lead To Low Cost Alternative Fuels Has Received the Environmental Protection Agency Presidential Green Chemistry Challenge Award"; Anon.

[22] Dr A.Johnson. Simon-Holder, UK. Paper technology (Bury, United Kingdom) (1992), "Modern de-inking systems- design aspects", 33 (11), p. 20-30.

[23] A. Shrinath, J.T. Szewczak, I.J. Bowen (1990), "Review of Ink Removal Techniques in Current De-Inking Technology" TAPPI Engineering Conference, 803.

[24] Informations reçues de la société Norske Skog ; mars 2002.

[25]Bruno TAPIN- Responsable développement process DIP- Norske Skog Golbey ; mars 2002.

[26] "Guide to an Optimum Recyclability of Printed Graphic Paper"; March 2002, CEPE.

[27] Graham Gilbert (Avril 2003). Communication personnelle. Société « m-real »; Angleterre.

[28] Décision 2002/741/CE du 4 septembre 2002 de la Commission modifiant la décision 1999/554/CE ; JO L 237/6 du 5.9.2002.

[29] Livre vert sur la politique intégrée des produits ; Commission des Communautés européennes, Bruxelles, le 07.02.2001 COM (2001) 68 final.

[30] Anne Gray, Sue Percy and Irene Bruegel (June 2002), "Estimating job creation from recycling and reprocessing"; report for London Remade.

[31] Ruxandra Govoreanu, Gurkan Sin (11 December 2002), "Life Cycle Assessment of pulp (fiber) recovery from recycled waste paper"; Ghent University Center of Environmental sanitation.

[32] Document confidentiel du CEPI sur les concentrations des divers éléments dans les résidus de désencrage.

[33] Données fournies par la société *RDC-Environment*.

[34] Christian Bienert & Elisabeth Hanecker, "Utilisation of residues of deinking mills in the year 2000"; INGEDE Project 76 01 PTS.

[35] Buwal, Life Cycle Inventories for packaging volume I, p.212-213; 1998.

[36] Buwal, Life Cycle Inventories for packaging volume I, p.214-215; 1998.

[37] Buwal, Life Cycle Inventories for packaging volume I, p.216-217; 1998.

[38] Buwal, Life Cycle Inventories for packaging volume I, p.218-219; 1998.

[39] Buwal, Life Cycle Inventories for packaging volume I, p.220-221; 1998.

[40] Buwal, Life Cycle Inventories for packaging volume I, p.222-223; 1998.

[41] Buwal, Life Cycle Inventories for packaging volume I, p.224-225; 1998.

[42] Buwal, Life Cycle Inventories for packaging volume I, p.248-249; 1998.

[43] I Boustead (1999), "Ecoprofiles of plastics and related intermediates"; APME, Brussels.

[44] Données *RDC-Environment* (2002), étude sur l'estimation du potentiel de réduction des consommations énergétiques.

[45] Mitchell, R.E, Watts, C.D., Kay, M. and Moore, G., "National R&D Project P2-203: Development of Emission Scenario Document for Chemicals used in the Pulp, Paper and board Industry"; p 25-26.

[46] Données *RDC-Environment* sur les consommations énergétiques de la production de cuivre.

[47] Duane A. Tolle, David P. Evers, Bruce W. Vigon and John J; Sheenan (2000), "Streamlined LCA of Soy-Based Ink Prinking"; Int. J. LCA 5 (6) 374-384.

[48] http:/nicnas.gov.au/PUBLICATIONS/CAR/NEW/NA/NASUMMR/NA0000SR/na1.htm

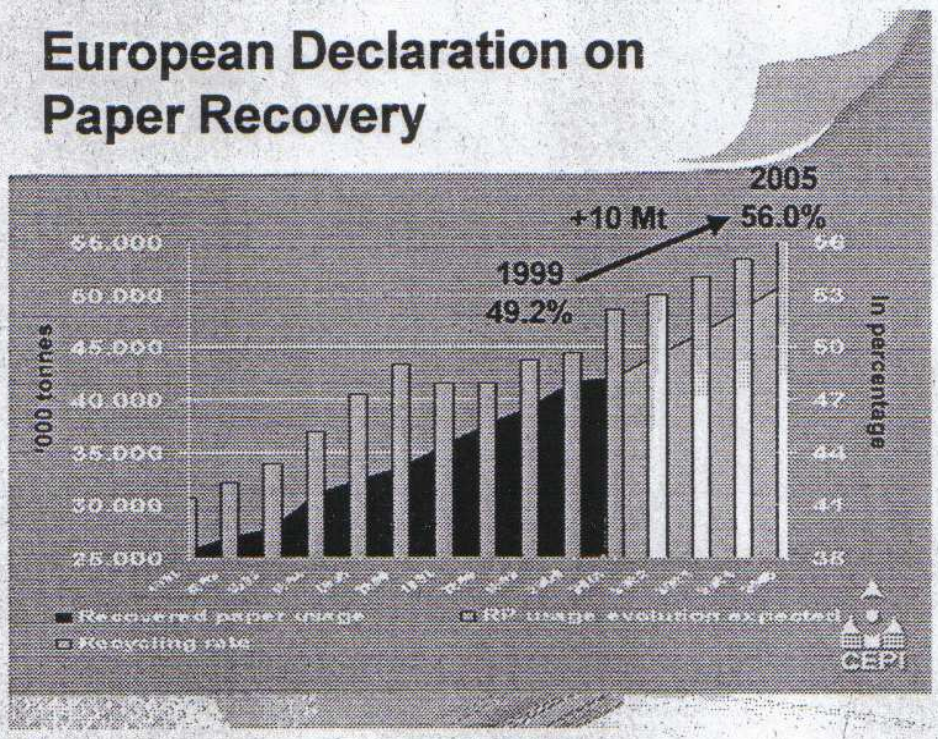
[49] Hecq Walter, « Aspect économiques de l'environnement », Fascicule 4. Université Libre de Bruxelles, 7e édition 2001-02/1.

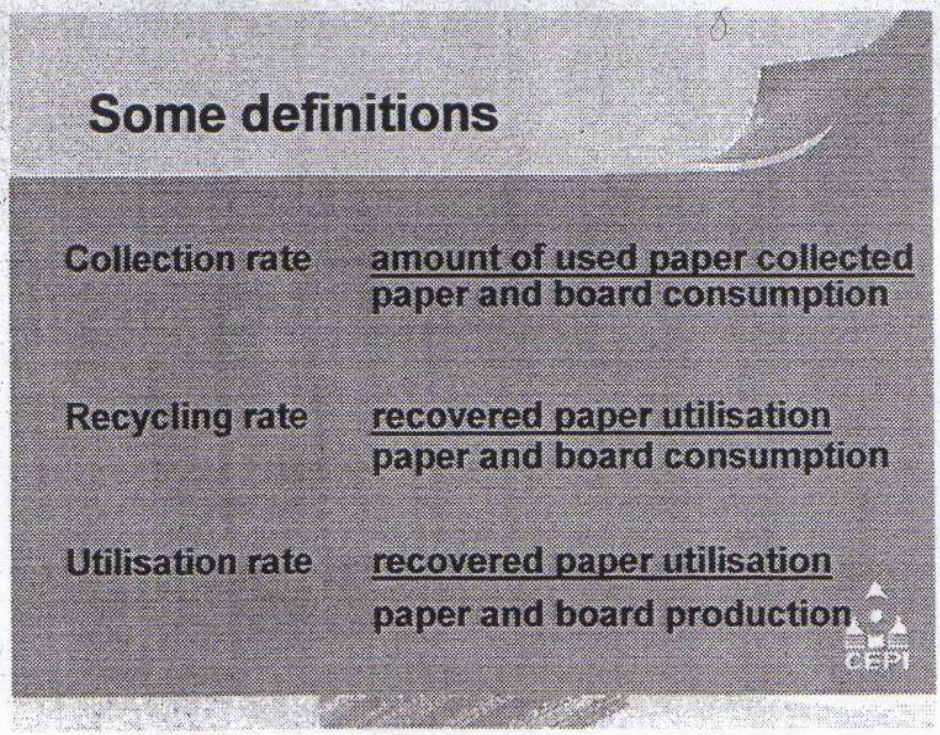
7 Glossaire

Vieux papier: Papier imprimé, n'ayant plus d'utilité en tel que tel, et potentiellement recyclable.
Papier couché: Le papier couché est un papier qui reçoit un dépôt supérieur à 7-8 g/m^2 par face, d'une couche de composition variable (e.g. pigments, liants, adjuvants etc.).
Papier non-couché: Le papier non-couché n'est pas « protégé » d'un dépôt sur sa face (cf. papier couché).
Acidification de l'air [4]: Augmentation de la quantité de substances acides dans la basse atmosphère, à l'origine de "pluies acides", du dépérissement de certains écosystèmes forestiers et écosystèmes d'eau douce. L'unité retenue pour évaluer la contribution d'une substance à l'acidification est le potentiel de libération de protons (H+).
Effet de serre [4]: Augmentation de la température moyenne de l'atmosphère induite par l'augmentation de la concentration atmosphérique moyenne de diverses substances d'origine anthropique (CO2, CH4, CFC, etc.). L'indicateur retenu pour évaluer l'impact potentiel sur l'effet de serre d'une substance est le GWP, exprimé en kg d'équivalent CO2.
Eutrophisation des eaux [4]: Introduction de nutriments, notamment sous la forme de composés azotés et phosphatés, qui conduit à la prolifération d'algues. Ce phénomène peut conduire à la mort de la faune et la flore du milieu aquatique considéré. L'unité retenue pour évaluer l'eutrophisation est le kg d'équivalent phosphate (PO4).
Théorie des « prix hédonistes » [49] : Moyen classique de valoriser les dommages consistant à demander aux victimes réelles ou potentielles de la pollution, de gênes, le montant de l'indemnité qui leur semble acceptable pour supporter le dommage qu'elles ont subi (ou vont subir) ou ce qu'elles consentent à payer pour éviter ce dommage.

8 Annexes

[annexe 1]


European Declaration on Paper Recovery
2005
56.0%
+10 Mt
1999
49.2%
'000 tonnes
In percentage
55.000
50.000
45.000
40.000
35.000
30.000
25.000
56
53
50
47
44
41
38
Recovered paper usage
Recycling rate
RP usage evolution expected
CEPI


Some definitions
Collection rate
amount of used paper collected
paper and board consumption
Recycling rate
recovered paper utilisation
paper and board consumption
Utilisation rate
recovered paper utilisation
paper and board production
CEPI

[annexe 2]

Déclaration Européenne sur la Valorisation des Papiers et Cartons
(the European Declaration on Paper Recovery)

Les produits papiers et cartons font partie de la vie quotidienne de chaque citoyen européen. Dans de nombreux pays, même les très jeunes enfants savent que le papier peut être collecté pour être recyclé. Les papiers et cartons peuvent même être vus comme «catalyseur» d'une conscience environnementale, en tant que premier produit industriel à engager les consommateurs dans la collecte et le recyclage à grande échelle afin d'éviter que les produits papiers et cartons recyclables ne finissent en décharge. Dans cette optique, le recyclage contribue aussi positivement à la problématique du changement climatique. Le recyclage des papiers et cartons s'est accru de façon notable tout au long des années 1990. A la fin de la décade, on a collecté et recyclé en Europe près de 70% de papiers et cartons de plus qu'au début de celle-ci. Ce qui s'est traduit par l'évolution du taux de recyclage des papiers et cartons qui est passé de 38,8% en 1990 à 48,7% en 1999 (taux de recyclage: pourcentage des papiers et cartons récupérés utilisés par rapport à la consommation totale de papier et cartons). L'industrie européenne des papiers et cartons et les professionnels de la récupération sont cependant convaincus que ces résultats peuvent encore être améliorés. Les membres, ci-dessus mentionnés, de la filière européenne du papier ont accepté de s'engager unilatéralement afin d'intensifier leurs efforts pour protéger l'environnement sur le long terme. Il en résulte: **la Déclaration Européenne sur la Valorisation des Papiers et Cartons (the European Declaration on Paper Recovery).**

Les produits forestiers, y inclus les papiers et cartons, font partie du cycle intégré du carbone, fondé sur la conversion par photosynthèse de l'eau, du dioxyde de carbone (CO2), de nutriments et de l'énergie solaire en biomasse renouvelable. Une fois consommés, et à partir du moment où ils ont été collectés séparément, les papiers et cartons peuvent commencer une nouvelle vie en tant que matière première secondaire. Ce processus cyclique signifie que la forêt est une source de matières premières renouvelables et que le cycle écologique est équilibré et fermé. Fondée sur l'idée de cette boucle fermée, la Déclaration traite des aspects majeurs du cycle de vie des papiers et cartons: des matières premières et matières annexes entrant dans la composition des papiers et cartons, aux process et à la production, en passant par la collecte et le recyclage.

Les *Signataires* de la Déclaration Européenne sur la Valorisation des Papiers et Cartons se sont engagés à réaliser ce qui suit:

• Réduire davantage la production de déchets issus de tous les process tout au long du cycle de vie des papiers et cartons.

• Améliorer davantage l'usage efficace des matières premières secondaires et matières annexes.

• Optimiser les systèmes de collecte en partageant leur expertise avec ceux qui sont responsables de la collecte des papiers et cartons récupérés à fin de recyclage.

• Améliorer, du point de vue technique, opérationnel et en termes d'impact environnemental, les solutions en stimulant et soutenant la recherche et le développement.

• Mieux sensibiliser les consommateurs au recyclage des papiers et cartons en les informant sur leur rôle dans la boucle du papier.

• Enfin, les *Signataires* acceptent de prendre les mesures nécessaires pour assurer qu'en 2005, au moins 56% des produits papiers et cartons consommés en Europe seraient recyclés.

Même si les situations varient grandement d'un pays à l'autre, l'industrie papetière européenne, les professionnels de la récupération et l'ensemble de la filière papetière sont convaincus que des niveaux de recyclage plus élevés peuvent être atteints au niveau européen. Prenant en compte la hausse attendue de la consommation de papiers et cartons, l'ambitieux objectif d'un taux de recyclage de 56% pour l'an 2005 signifierait que le volume des papiers et cartons recyclés serait de 25% plus élevé qu'il ne l'est aujourd'hui. En termes concrets, ce seraient 10 millions de tonnes de papiers et cartons voire davantage, qui seraient volontairement recyclées par l'industrie papetière européenne, un chiffre faisant passer le volume total des papiers et cartons collectés et recyclés de 38 à plus ou moins 48 millions de tonnes. Le recyclage des papiers et cartons est un secteur industriel et commercial dont les marchés sont établis depuis de nombreuses années en Europe: il est donc possible de disposer de statistiques fiables sur les marchés des papiers récupérés européens. Les industries concernées estiment néanmoins qu'il existe dans ce domaine des marges de progrès. Aussi, un Conseil (European Recovered Paper

Council - ERPC) sera mis sur pied afin de suivre les progrès et la réalisation des projets contenus dans la Déclaration Européenne, cela d'une manière ouverte et transparente. Les représentants des institutions de l'Union Européenne et les autres membres de la filière papetière seront invités à suivre les travaux de l'ERPC. Les membres suivants de la filière européenne du papier sont *Signataires* de la Déclaration Européenne sur la Valorisation des Papiers et Cartons:

• CEPI, Confederation of European Paper Industries

• ERPA, European Recovered Paper Association

Les *Signataires* sont convaincus que la Déclaration Européenne sur la Valorisation des Papiers et Cartons stimulera, non seulement l'industrie papetière et les professionnels de la récupération à accorder plus d'attention aux intérêts environnementaux, mais encouragera également les autres membres de la filière papetière et les consommateurs à contribuer activement à la réalisation de niveaux de collecte et de recyclage plus élevés. De fait, la Déclaration Européenne sur la Valorisation des Papiers et Cartons a été élaborée avec la large collaboration des membres de la filière papetière. La Déclaration Européenne sur la Valorisation des Papiers et Cartons doit être considérée comme un pas en avant vers une stratégie environnementale générale et dynamique de la part de l'industrie papetière européenne. Elle a pour but de montrer l'engagement volontaire de l'industrie papetière dans la voie du développement durable.

Juha Niemelä Martin Kleiweg de Zwaan Président

Confederation of European European Recovered Paper Industries Paper Association

le 9 novembre 2000- Le texte complet de la Déclaration Européenne est disponible sur le site Internet de CEPI: www.cepi.org-

1.1. OBJECTIF

La Déclaration Européenne sur la Valorisation des Papiers et Cartons met en place des mesures dont le but est d'assurer la gestion optimale des produits papiers et cartons usagés. En tant que *Signataires* de la Déclaration, les membres de la filière papetière acceptent, sur une base volontaire, d'entreprendre un certain nombre d'actions complémentaires ayant pour objectif d'assurer un niveau élevé de protection de l'environnement dans les domaines de la fabrication, de la collecte des papiers et cartons et dans le traitement et la valorisation des produits papiers et cartons usagés. Priorité est donnée à la prévention des déchets lors de la fabrication du papier-carton et des produits papiers et cartons, lors de la collecte et du traitement des produits usagés et lors de leur recyclage, réduisant ainsi les quantités de produits à base de papier et carton destinés à l'élimination finale. Une attention particulière a été accordée aux améliorations de la qualité des papiers et cartons récupérés, ce qui renforce leur caractère de matière première secondaire.

1.2. DOMAINE D'APPLICATION

La Déclaration couvrira tous les produits papiers et cartons. Elle s'appliquera sans préjudice de la législation communautaire et des législations nationales applicables, qui réglementent actuellement certains secteurs du papiercarton, telles que la Directive Européenne 94/62/EC concernant les "emballages et les déchets d'emballages".

1.3. PARTIES A LA DECLARATION

Les Associations Européennes suivantes, membres de la filière européenne du papier, sont *Signataires* de la Déclaration Européenne sur la Valorisation des Papiers et Cartons:

• CEPI – Confederation of European Paper Industries

• ERPA – European Recovered Paper Association

1.4. ACCES DE TIERCES PARTIES

La Déclaration est ouverte aux Associations Européennes qui représentent des membres de la filière papier et qui ont un intérêt significatif dans le cycle de vie du papier.

1.5. DEFINITION DES TERMES

Afin de permettre une compréhension commune de cette Déclaration en Europe, il a paru nécessaire de convenir d'une terminologie qui est partiellement issue de définitions qui existent déjà dans la législation communautaire et partiellement fondée sur des termes utilisés dans des activités commerciales et industrielles de la boucle européenne du papier. Ces définitions sont listées en annexe.

2.1. PREVENTION DES DECHETS

Les *Signataires,* lorsque cela sera techniquement possible et économiquement viable, réduiront la production de déchets au cours des différents process de fabrication, de transformation, de collecte, de tri et de recyclage pour assurer un recyclage optimal des produits papiers et cartons et respectueux de l'environnement.

2.2. COLLECTE

1. Les *Signataires* fourniront aux opérateurs ou aux entités légales concernés, leurs conseils dans le but de permettre la mise en place et l'optimisation de systèmes de collecte, en vue de réaliser la meilleure combinaison des paramètres de coûts, qualité et disponibilité, conduisant à une gestion optimale de l'offre de fibres récupérées. Un système sera mis en place pour permettre un échange d'informations concernant les initiatives et expériences nationales au niveau européen.

2. Les *Signataires* détermineront – en complément à la Liste Européenne des Sortes Standards de Papiers et Cartons Récupérés – des exigences spécifiques en ce qui concerne la qualité de tri des produits papiers et cartons usagés collectés de sources diverses (c'est à dire les ménages ou assimilés, l'industrie et le commerce).

2.3. RECUPERATION

1. L'industrie européenne des fabricants de papiers et cartons dans son ensemble – avec le soutien des autres *Signataires* de la Déclaration et sous réserve du développement des marchés internationaux – prendra des mesures afin d'assurer qu'en 2005, au moins 56% des produits papiers et cartons consommés en Europe seront recyclés. Une marge de ±1,5% devra être prise en compte afin de s'ajuster aux fluctuations du marché international des papiers et cartons.

2. Les récupérateurs/marchands de papiers récupérés soutiendront activement l'industrie papetière dans ses efforts pour atteindre le taux de recyclage indiqué au paragraphe 2.3.1.

2.4. RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT

Les *Signataires* stimuleront la recherche et le développement concernant:

- les process de production ainsi que les matières premières et auxiliaires de fabrication,
- les technologies concernant le traitement des papiers récupérés,
- les mesures permettant de réduire les impacts environnementaux des matières premières et auxiliaires, et ceci, afin d'améliorer la recyclabilité des produits papiers et cartons.

2.5. INFORMATION ET SENSIBILISATION

Les *Signataires* mettront en œuvre des actions en vue de diffuser des informations permettant d'éduquer et de développer la sensibilité des consommateurs concernant leur rôle dans la boucle du papier. Ils communiqueront les termes et les réalisations de la présente déclaration via l'ERPC qui sera créé dans les termes ci-dessous.

2.6. COLLECTE DES DONNEES ET COMPTE- RENDU

1. Les *Signataires* constitueront un Conseil (European Recovered Paper Council - ERPC) dont les missions seront les suivantes:

- coordonner les engagements des *Signataires,*
- attester des progrès accomplis,
- discuter tous les sujets liés au succès de la Déclaration,
- coordonner l'information publique sur les progrès accomplis dans le cadre de la Déclaration,
- produire des rapports annuels.

2. Les *Signataires* collecteront les informations requises et rendront compte annuellement à l'ERPC qui sera en charge de la compilation des données et de la production d'un rapport joint. Le rapport inclura les mesures prises, les progrès accomplis (sous forme quantifiée lorsque cela sera possible) et une information vérifiable sur le respect des engagements.

3. Les représentants des Institutions communautaires ainsi que les membres de la filière papetière seront invités à participer aux réunions et aux mainifestations de l'ERPC.

La Déclaration entrera en vigueur pour une durée illimitée et tant que les *Signataires* respecteront leurs engagements.

Les *Signataires* ont la volonté d'engager des négociations avec les représentants de l'Union Européenne en vue de faire évoluer cette Déclaration vers un Accord environnemental européen.

Une première révision de cette Déclaration sera fondée sur les résultats quantifiés des engagements de recyclage pour 2005.

[annexe 3]

INGEDE
International
Association of the
Deinking Industry

INGEDE Statement Flexographic Newsprint and Deinking

Further Development of Flexo Inks Necessary

15. November 2002

Newspapers printed with the flexo printing process and using standard flexo printing inks pose a major threat to the recycling of printed graphic paper. Extensive research and practical experience have shown that the European standard recovered graphic paper mixture (Grade 1.11) cannot be recycled economically by the standard deinking process used throughout the world today, if it contains more than a small quantity of flexo printed newspaper.

Even a small quantity of flexo printed newspaper will deteriorate the quality of the deinked pulp and prevent its utilisation in higher quality printing grades. This has already been outlined by the jointly developed "Guide to an optimum utilisation of recovered graphic paper" (www.ingede.com). On the other hand, the utilisation of this recovered paper quality is necessary to achieve a further increase in the utilisation of recovered paper in the future.

Any new flexo printing capacity for newspaper in Europe will impair the existing sensible balance not only in the country involved but for Europe. It will cause the downgrading of a multiple amount of recovered graphic paper (1.11) in comparison to the quantity of flexo newsprint it may contain. And will lead to the loss of a major source of valuable raw material.

The **European target** for the utilisation of recovered graphic paper will be endangered.

The deinking industry does not want to judge the quality of a paper printing process, but it has a strong demand that the "flexo chain", publisher, printer, printing machine producers, ink manufacturers and paper producers, show their responsibility for developing new printing inks that perform well in printing and in deinking of the standard recovered paper grade 1.11 as well. This should be achieved by a **joint effort of the flexo chain** through a voluntary agreement and thereby avoiding any government actions or legislation.

INGEDE, speaking for the European deinking industry, has been active to work for an Industrial acceptable solution since 1989. The development of deinkable flexo printing inks has not yet lead to an agreed new industrial standard because the printability of these inks could not be optimised in industrial application. A positive interest of the printing houses using the flexo printing process is needed for a successful accomplishment and towards the sustainability of the recycling of their products.

More information:
INGEDE – International Association of the Deinking Industry
www.ingede.com
E-mail: info@ingede.com

2

[annexe 4]

INGEDE
International Association of the Deinking Industry

INGEDE Fact Sheet Flexo

18. November 2002

The increasing utilisation of flexographic printing technology in the newsprint sector means a threat to the well established system of paper recycling in Europe.

Newspapers printed with today's standard flexo inks are **not deinkable** in a mixture with offset printed newsprint and magazines.

Deinking is the removal of printing ink from dissolved recovered paper. The ink is detached from the fibres by addition of caustic soda to the mixture of recovered paper and water. In order to remove the ink particles the **flotation** technology is commonly used. Soap is added, then air blown in. The ink particles attach to the air bubbles and are transported to the surface of fibre-water mixture. There the froth is scooped off and the printing ink removed.

Flexographic inks currently used are a rapidly drying, waterbased ink system. Printers see this as an ecological advantage due to the extremely low content of volatile organic compounds (VOC). But this is only true if compared with rotogravure – inks for newspapers have a low VOC content already, offset inks as they are used for newsprint dry primarily by absorption of the ink oil into the paper fibres. The petroleum distillates that are mostly used here have extremely low volatility. Lower costs are seen as one of the **main advantages** of flexographic printing: Capital equipment investment expenditures are lower for flexography than offset, another advantage for the reader is that the ink doesn't rub off. A **disadvantage** is, compared to offset, the higher price of flexographic plates and inks. Also the screen is limited due to mechanical endurance of a screen dot on the polymer plate.

Pure fractions of flexographically printed newspapers (flexo papers) might one day be deinkable. But this does not apply yet as no significant amounts of pure flexo paper fractions are available.

Mixtures of recovered graphic paper (from household collections) with a share of flexo papers are currently not deinkable. As soon as the portion of flexo papers rises above 5 percent, deinking is not possible with satisfying results, even in plants with most up-to-date technology. Trials in the US mostly refer to wash deinking. The most recent trials that have been run at the US Department of Agriculture's Forest Products Laboratories (USDA-FPL) with modified inks due to lack of information cannot be rated yet. A much better deinking performance than with current inks is reported but cannot be confirmed. •

Why do flexo papers impair deinking? When dissolving the newspaper under the alkaline conditions commonly applied in Europe, the binder of the currently used flexographic ink disintegrates and releases the pigments. Unlike conventional pigments, these are hydrophilic and much smaller (less than one micrometer). They **cannot be removed by flotation** but remain in the closed water cycle or in the fibre slurry. Pigments can even enter through small pores into the fibre and stay there irreversibly. This altogether leads to a drastic deterioration of the brightness of the deinked pulp – it remains grey and cannot be brightened by deinking as usual. To date there is no process available that can remove conventional and flexo inks from a mixture of recovered paper. Flexo inks with better deinkability have to be developed.

[annexe 5]

The problem with de-inking flexo printed newsprint

The recycling of various grades of paper is often referred to as the urban forest. The availability of Recycled Fibre (RCF) is an essential resource of raw materials for the paper industry in most major producing countries, particularly those with large populations consuming large numbers of newspapers. As an example, third largest paper producer in the world, Japan, recovers over 90% of its newsprint for recycling. In total the Japanese industry recovers about 18 million tpy out of a production of 30 million tpy in all grades and a consumption of about 4 million tpy of newsprint.

In the UK the situation is a bit different. Production of all grades amounted to 6.2 million tonnes in 2001 but consumption was over 12 million tonnes of which 4.6 million tonnes was recovered. Consumption of newsprint in the UK amounted to about 2.7 million tonnes much of which is recycled in three major mills Aylesford Newsprint, Bridgwater Paper and UPM-Kymmene Shotton.

The feasibility of recycling the recovered post consumer newsprint could change dramatically under circumstances that are under close consideration at the present time.

The announcement that News International, the largest publisher of newspapers in the UK, is considering spending £1 billion on new flexo-graphic printing technology has the potential to throw the recycled paper market throughout Europe into chaos. The problem is that the technology to de-ink papers printed with water based flexographic inks in an environmentally acceptable way does not, at present, exist.

As this issue was going to press PEM was informed that following four years of research by Centre Technique du Papier (CTP), in France, in collaboration with Sun Chemicals, Harmsworth Quays Printing Ltd., in the UK, KBA, Germany, and MacDermid Printing Solutions in the USA, a solution may be closer than at first anticipated. This is likely to be in the form of new printing inks that lend themselves more readily to de-inking. Arranged with Professor Gopal Krishnagopalan at Auburn University, trials of the new inks are to carried out on the pilot plant at the US Department of Agricultural Products Laboratories (FPL) in Madison, Wisconsin.

The CTP study found that the new inks are more de-inkable, potentially allowing the use of higher amounts of flexo in paper mills without any change to their current process. They found the pulp brightness with 30% flexo newsprint, using the new inks, to be comparable to the brightness of pulp with 10% flexo newsprint, using the standard flexo inks.

While noting this as a significant finding, it was considered important to confirm that these new inks have the necessary printability and runnability characteristics, noting that other very de-inkable flexo inks have fallen down in these areas.

Deinkable flexo inks have been developed but some of the research into these products has already disappeared from the market as in the past they have been more expensive than conventional flexo inks. Some years ago the German company Huber produced a flexo-graphic ink that could be de-inked but it was considered too expensive and was dropped as a solution.

PEM has been told that if News International takes the route two other national newspaper groups in the UK are likely to follow suit. There are advantages, in that flexograhic printing saves on energy, the printing machines can be washed down with water and this water can be reused in the black ink cycle. The printing presses are also cheaper in terms of capital expenditure.

What this could mean is that a number of paper mills throughout Europe, at present using RCF (Recycled Fibre) from the UK, would cancel their contracts for these grades 'overnight'. In a recent scenario, put to editor of PEM, Martin Swayne, this could mean, the sudden appearance of close to two million tpy of 'waste paper' being generated in the UK, with nowhere to dispose of it except into packaging grades, where colour is not a factor, send it to landfill or incinerate it as a bio-fuel.

This news comes on top of the development of the new paper mills of Rhein Papier and Lang Papier in Germany and Langerbrugge in Belgium, which will require over 1.5 million tpy of RCF, once they are all running at full capacity. Rhein Papier started up earlier this year, Lang started up on 3 October and Stora Enso's Langerbrugge machine will start up in 2003.

Claus Palm director of technical and corporate development for MD Papier, part of the Mylykoski Group, told PEM that if the proportion of flexo printed paper, normally destined for RCF rose, as predicted, it was likely that a number of continental paper mills would cease taking old newspapers and magazines from the UK. The UK exports some 1 million tpy of recycleable grades to the rest of the EU. Rolf Maisch, technical production director of Perlen in Switzerland confirmed this view.

Mr Palm and Mr Maisch are on the council of INGEDE. The introduction of flexo printing in Italy and the UK in 1989 resulted in the foundation of INGEDE, an association of many major paper mills that use de-inked RCF for the furnish of graphic paper grades.

Flexographic printing is a threat to the de-inking industry as it is not possible for existing paper mills to incorporate more

[annexe 5-bis]

than about 5% flexo printed RCF in their furnish. Some say that 10% would be the absolute maximum although even 5% can be too high unless special measures are taken.

The paper mills involved in this side of the business united in INGEDE in 1989 and succeeded in convincing primarily the German printers not to introduce this printing technology.

Axel Fischer, director of INGEDE said, 'If News International now plans to use flexo printing a much higher volume of paper will be printed in this way than ever before. We have set up a task force to dealing with this topic. The result has so far been disappointing. Aylesford Newsprint did not wish to speak out against flexographic printing. In order to maintain relations with existing customers using this technology and to retain the brightness of their product, they would rather try to cope with it. The problem with arguments such as – 'If flexo printing increases we will buy our recovered paper on the continent.' - will no longer count since the market for RCF in Europe becomes tighter with increased demand from the new mills.'

Technically it is possible to de-ink water based flexographic inks by increased washing. The problem is that it is not possible to separate the ink from the wash water and, as is often done in the USA, the polluted water must be discharged to the sewer. This, of course, is not acceptable in most of Europe where anti-pollution laws are strictly maintained. One of the largest suppliers of de-inking technology has said that despite extensive research there is still no solution to removing flexo inks from the wash waters. Water based flexo inks, in commercial use today, do not flocculate or attach to air bubbles in floatation techniques.

INGEDE has organised meetings with News International and suppliers to show them a paper mill and trying to explain the problems. According to Mr Fischer it seemed that at NI nobody was really willing to take de-inking properties into account. PEM understands that the final decision rests with proprietor Rupert Murdoch who has decided to give his answer on NI's future printing policy in the new year.

[annexe 6]

news & information services

Manufactured Since 1942 by: Apex Engineering Products Corporation
RYDLYME Worlds Leading Biodegradable Dessicant
RESTORE PEAK PERFORMANCE NOW!! CLICK HERE

Ask the Experts
the expert community
Solutions Advisor
for the paper industry

News International may upset recovered paper market with switch to flexo printing

EMAIL THIS
PRINT THIS

BRUSSELS, Nov. 20, 2002 (paperloop.com) - The UK's newsprint sector is buzzing with rumors that News International may switch from offset to flexo printing methods at its newspaper and magazine plant in Wapping. The move would present a considerable headache for recovered paper-based newsprint producers as it is impossible to deink flexo printed newspapers under present methods.

A spokesman for the UK publisher revealed little on the company's future direction. "Basically, we are looking at the pros and cons of different processes," he said. The News International mouthpiece did not indicate a timetable for any potential switch from offset to flexo printing on its machines.

According to the World Association of Newspapers (WAN), News International is the UK's top newspaper publisher by circulation. The company publishes the tabloids The Sun and News of the World as well as The Times broadsheet. WAN reported that The Sun was the highest selling newspaper in the UK last year with a circulation of 3.5 million copies/day.

The Sun's circulation is head and shoulders above its closest rival, The Daily Mail, which sells 2.5 million copies/day. The number two newspaper's publisher, Associated Newspapers, already uses the flexo method to print The Daily Mail at the Harmsworth Quays printing plant.

According to Axel Fischer, public relations manager of the International Association of the Deinking Industry (INGEDE), the flexo printed Daily Mails already give recovered paper deinking plants some indigestion but as long as the newspapers represent 10% of the mix, the process can still be completed.

Italy's largest domestic newsprint producer is also concerned about moves towards higher adoption levels of flexo printing methods. The majority of the Italian publisher, la Repubblica's, newspapers are flexo printed and the company is mulling plans to add more flexo printing capacity. "We estimate that 18% of newspapers are flexo printed in Italy," the Italian supplier said. "It does cause problems, we try to avoid collections from areas where there is a high percentage of flexo printed newspapers and, of course, we can't use unsold issues," he added.

The papermaker wants to reach a consensus with publishers. "The problem is to establish a cooperation with the publisher, a common solution" he said. "In Germany the problem has been solved as publishers and producers have a mutual understanding that publishers will not adopt flexo printing," he pointed out.

One industry observer noted that few producers wish to speak on the record on the topic due to "the certain sensitivity of the situation," as he described it. The source said papermakers are reluctant to tell their customers what to do, "we are talking about fairly substantial customers here," he explained.

Deinking takes place when old newspapers are dissolved in a soapy mixture. When air is passed through the mixture, the hydrophilic ink particles attach themselves to the soap and rise to the top. The ink is then skimmed off the mixture. But when flexo printed newspapers are dissolved, the ink breaks down and remains in the slurry. The resulting deinked pulp is gray and cannot be lightened.

If the UK's largest newspaper publisher were to switch to flexo printing, it could cause recovered paper shortages across Europe. According to the Confederation of European Paper Industries (CEPI), 69.3% of total newsprint production in Europe is based on recovered newspapers and magazines. CEPI also reported that the UK was a net exporter of 960,000 tonnes of recovered paper last year.

On top of that, Axel Fischer pointed out that new capacity at Stora Enso's Langerbrugge plant and the new newsprint machine at Rhein Papier will swallow up an additional one million tonnes/yr of recovered paper by the end of next year. The recovered paper sector is notorious for its volatility and any further tightening of supply may boost prices into orbit. With almost 70% of Europe's installed newsprint capacity dependent on recovered paper for furnish, the price rise is likely to have a domino effect on newsprint levels.

Many of CEPI's members could be affected by the move and the confederation is giving the topic some careful thought. "We don't know what will happen on recycling rates," said CEPI's recycling director, Esa Hyvarinen. "But we know that paper producers cannot deliver the rates that governments demand with flexo printed paper," he said. The UK's Newspaper Publishers Association and the Newspaper Society formed a voluntary agreement with the government in April 2002 to aim for 70% recycled content in their newspapers by 2006.

Many newsprint producers believe, however, that the industry will be able to find a solution. "Of course it will be a problem, but ten years ago we faced the same problem when they said it was impossible to eliminate chlorine bleaching in pulp and look at the situation now," one supplier said. "If you are really faced with a problem that threatens your profitability you will find a solution," he concluded.

The director of business affairs for the Paper Federation of Great Britain, Graham Barnard, strongly suggested that the ink manufacturers, the paper producers and the publishers pool their resources to find a solution. "We would be disappointed if advances in recycling were to be adversely affected without attempts at collaboration," he said.

The Day's Top Stories

copyright 2002 Paperloop Inc. All rights reserved. This material is copyrighted and should not be downloaded, reproduced, printed, or distributed without permission.

^ back to top

[annexe 7]

INGEDE Press Release 2/2001
Digital Print Technologies:
A Nightmare for Paper Recycling?
Many digital printing inks can hardly be removed
(Long Version)

On the airplane the flight attendant passes out the afternoon edition of a coloured business journal. In London a Swiss newspaper is available already early in the morning at the bookstall – delivered no more by mail-plane through the night but transmitted via satellite and printed on the spot. Mass mailings try to catch more attention through personalisation. All these print products have one thing in common: Straight away the data reach the printing press digitally. But they also have in common that the applied inks often hardly can be removed during the paper recycling process. On the contrary, **even small amounts** of these products **can seriously endanger the process of paper recycling**.

For the first time scientists of the French Centre Technique du Papier (CTP) have put together systematically, how different digital printing processes affect the deinking process. The results have recently been presented during a workshop organised by CTP and INGEDE in Grenoble. But only a few providers of digital printing equipment could be convinced to take part in the workshop.

The differences between several processes that are currently on the market turned out to be surprisingly high. Particularly poor results were observed with **liquid toner processes** as the one used by Indigo: These printers use a fast drying so-called Electro-Ink (particular ink by Indigo). The toner is transferred from a drum to the electrostatically charged paper, where it is fused to form a polymer film. When the printed paper is dissolved in the beginning of the recycling process, these films result in large but very soft particles, found CTP scientist Bruno Carré. These particles can neither be removed by the usual screens nor through flotation, which is the common process to separate standard inks from the paper fibres. The result is a high amount of clearly visible dirt specks in the recycled paper. "This is really **a threat to the deinking industry**", Carré stated. Even the third generation of these inks was not acceptable in terms of deinkability.

Dry toners as they are applied for digital four colour printing processes by Xeikon and Xerox create less problems. The resulting brightness and residual ink are sufficient to lead to a good deinkability. But the number of **dirt specks** is still too high – it is lower compared to other types of digital prints but still 10 to 100 times higher compared to the contamination found when testing conventional office waste on an industrial deinking line. Too high", Carré judged, an additional dispersion step would be necessary to achieve acceptable results. Differences in the rating of particular processes were mainly caused by different fusion temperature or printing speed.

Positive results, according to Carré, delivered the tests with digitally printed newspapers by the Océ technology that electro photographically uses dry toner. Preliminary results show that the brightness after the recovered paper treatment is even better than with conventional offset printed newspapers. Here also, the chosen fusion temperature together with the printing speed could be the reason for the good results. The composition of the toner could also matter, but yet no investigation about different toners exists. Gerd Goldmann of Océ Printing Systems Germany admitted, that in the past nobody had thought about the deinking problem. The aim had rather been to improve the adhesion of the toner to the paper – this being the opposite aim to deinkability. Goldmann promised to continue the dialogue with the deinking industry.

Inkjet inks can hardly be removed

The deinkability of inkjet prints lead to different results. Black inks contain more and more finely distributed pigments that can neither be deinked nor discoloured. Even ten per cent of print products with these inks among other recovered paper to recycle **spoil the deinkability of the whole mixture**. Among the dye based black inks only a few can be discoloured efficiently. Yellow and blue inks cannot be bleached at all – they leave an even shade in the deinked pulp.

Inkjets are not only applied in the office. To make mass mailings more attractive by personalisation, ever rising volumes of direct mail, billings, statements and manuals are printed at a breathtaking speed of more than 2.000 pages per minute with inkjet printers. According to Laurent

Mathieu of Scitex Digital Printing's Paris Office, the ink consists of 95 per cent water – but how the remaining five per cent can be removed later, about that also in his company nobody has ever thought of.

The amount of recovered paper rises continuously, which requires an **early cooperation** of paper manufacturers, publishers, ink manufacturers and machinery developers, stated INGEDE chairman Erwin Krauthauf. The first workshop dealing with digital printing gave "reason to hope that also here a lot more can be done in the future".

In Europe on average newsprint is made of more than 65 per cent recovered paper – in Germany almost only from recovered paper, Krauthauf said. He saw an enormous **potential for a further increase** of the use of recovered paper in other graphic papers, however, mainly in higher grade magazine papers. Here the utilisation rate in Europe is still less than eight per cent. In order to succeed with the also politically desired increase, the recovered paper quality must not decrease any further, Krauthauf said. Particularly in terms of inks and adhesives, a recycling-friendly coordination of the utilised processes and products with the paper used has to be taken into account. For that, INGEDE develops a series of test and evaluation procedures. These **"INGEDE Methods"** can be downloaded from INGEDE's pages on the internet.

INGEDE is an association of leading European paper manufacturers founded in 1989. INGEDE aims at promoting utilisation of recovered graphic paper (newsprint, magazines and office paper) and improving the conditions for an extended use of recovered paper for the production of graphic and hygiene papers.

19 December, 2001

A (German) summary of the workshop with some illustrations can be found here. English summary will follow.

If you have any questions we will try to help you:

INGEDE e. V.
Public Relations
Oetztaler Str 5 B
81373 München, Germany

Phone +49 89 769 2332
Fax +49 89 769 2338
E-Mail info@ingede.com

[annexe 8]

EUWID
EUROPÄISCHER WIRTSCHAFTSDIENST
Recycling and Waste Management
24

Automatic sorting of recovered paper is needed in the future

Growth in recycling capacity predominantly for old newspapers

(EU) – In the future, automatic sorting equipment will have to be used to guarantee the quality of recovered paper because of the rising collection volumes that go hand in hand with higher impurity levels. Entry inspections at paper mills showed that manual sorting was not sufficient to meet the agreed quality levels. The above comments were made by Erwin Krauthauf, the former chairman of the board of directors at the International Association of Deinking Technology (Ingede) at a special event held by the European Recovered Paper Council (ERPC) on recovered paper collection. Mr Krauthauf spoke at the event, which was held within the framework of the BIR Autumn Convention in late October, about the challenges in terms of quality that were faced due to growing waste paper collection volumes and the increasing share sourced from household collections.

According to the former chairman, new sorting facilities for recovered paper were pathbreaking. "A good example for the needs of the future" was the plant run by the waste management firm RWE Umwelt (formerly Trienekens) in Cologne, which officially started operating in May 2001. This facility ran an automatic sorting operation, controlled the mix ratio between old newspapers and old magazines, and featured inline quality control, monitoring and reporting. A quality pass for the end product with every delivery was a further characteristic of this plant, Mr Krauthauf said. Quality controls at the mills receiving the sorted paper could also be reduced because "off-grade deliveries will not happen between good partners." In the view of the former chairman, it will, however, take several years before the automatic sorting of paper becomes the standard in Europe and leads to lower costs, "although we would like to see it happen very, very soon."

Mr Krauthauf stated that future requirements for the sorting of recovered paper included the identification and traceability of the origin of every delivery. In the case of paper compressed into bales, each individual unit had to carry this information, he added. Uniform quality control methods also had to be agreed upon and used throughout Europe. Sorting plants should, in the view of Mr Krauthauf, bear the main responsibility for carrying out quality controls meaning that converters should merely have to check the quality. Data regarding quality levels should be exchanged and discussed, and off-grade material should not be delivered to the mill in the first place, he added. Recovered paper would then qualify as a raw material, according to Mr Krauthauf.

The speaker said that the average share of unusable materials in deinking grade paper ranged between 1.5 and 2.3 per cent between January 2001 and June 2002. Unsuitable grades, such as board or coloured paper, accounted for most of this material, while other contaminants comprised less than 0.5 per cent. The maximum amount of unusable materials in deliveries to paper mills represented five to nine per cent of the total volume, he added. These statistics were taken from figures sent by Ingede to its members on a monthly basis.

The need for more sorting as a result of changes to the structure of recovered paper utilisation and sources was also stressed by Esa Hyvärinen, the recycling director at CEPI. Mr Hyvärinen pointed out that the use of recovered paper in the packaging sector could not rise much further. However, future demand for recovered paper was expected to be stronger for graphic paper in particular and, to a lesser extent, for newspapers. At the same time, business and industry sources of recovered paper were already covered, meaning that household collec-

[annexe 8-bis]

tions would gain more importance in the future. Quality and safety aspects would come to the forefront.

In terms of recovered paper utilisation, the share of mixed grades fell slightly between 2000 and 2001 from 21.9 per cent to 20.7 per cent of the total volume of 42m tonnes (2000: 41.7m), according to Mr Hyvärinen. The absolute figure of mixed paper consumed dropped from 9.1m tonnes to 8.7m tonnes. More old corrugated containers (OCC) were used, up from 16.2m to 16.6m tonnes, with this material's share of the total volume climbing from 38.9 per cent to 39.6 per cent. Growth was also recorded in the consumption of newspapers and magazines from 10.9m to 11.2m tonnes. Their total share in terms of recovered paper utilisation was up from 26.2 per cent to 26.7 per cent. High grades remained unchanged at a share of 13 per cent and absolute volumes of 5.5m tonnes.

Old newspapers and magazines also held an important position in terms of new recycling capacities. Mr Hyvärinen said that recycling-based plants with a total annual capacity of 6.5m tonnes were agreed and planned in CEPI countries. As a result of this investment, the utilisation of recovered paper was expected to grow by 4.8m tonnes. Mixed grades accounted for 0.8m tonnes of this total, OCC for 1.2m, while old newspapers and magazines would represent two million tonnes. 0.7m tonnes extra utilisation would be based on high grades

Mr Hyvärinen also questioned how the trade in recovered paper would shape out in the future. In the year 2001, Spain, Austria, Italy, Sweden, France, Slovakia and Hungary were Europe's biggest net importers of recovered paper. The largest net exporters were the UK, Belgium and Germany. In terms of the global trade in recovered paper, Western Europe and USA were net exporters, while imports into Asia and, to a lesser degree to other regions, were more important than exports.

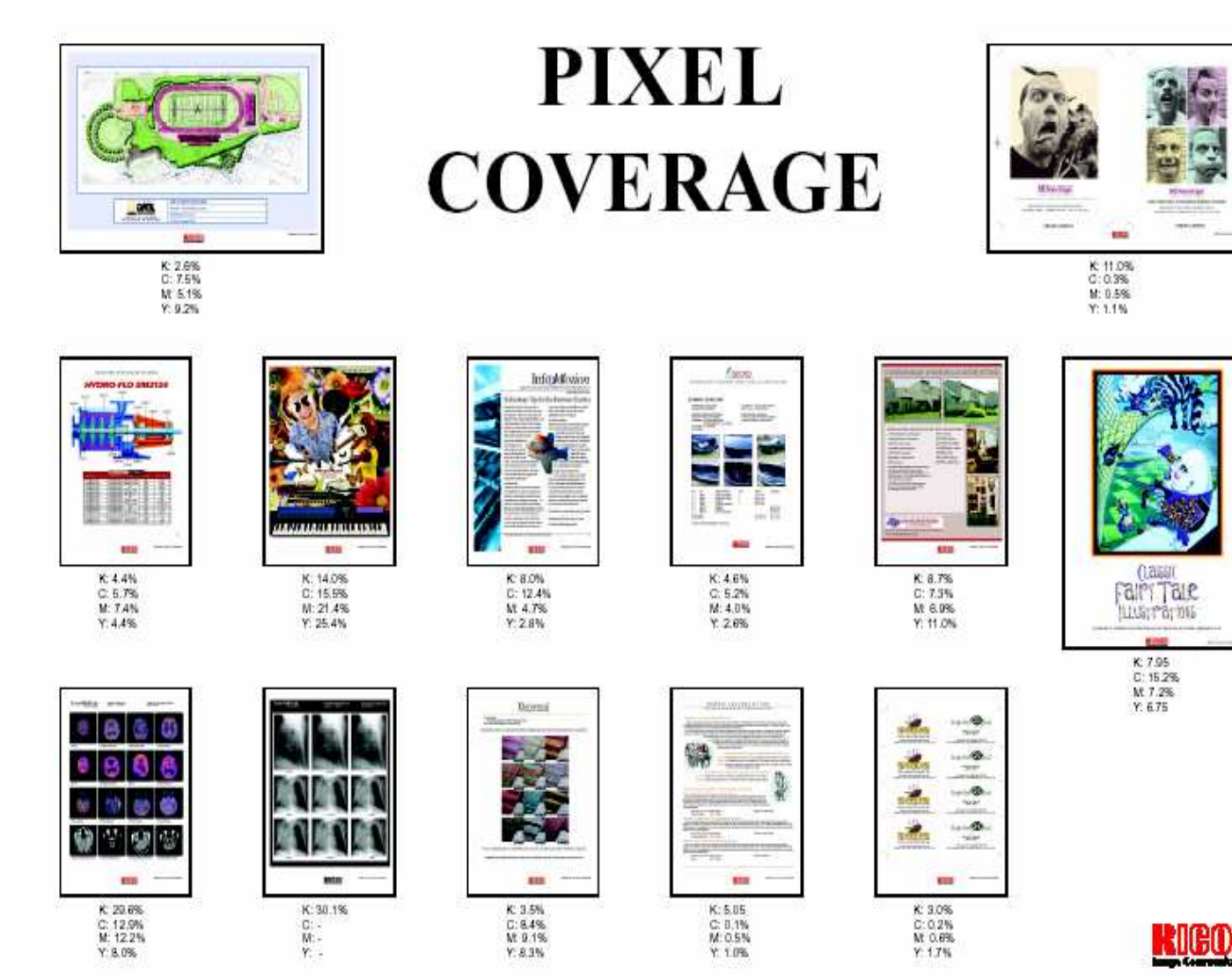
The CEPI representative pointed out that in China alone, capacity was expected to grow some 14m tonnes by 2005. Around half of this total was based on waste paper. China had increased its imports of recovered paper from 2.5m tonnes in 1999 to 6.4m tonnes in 2001. It was estimated that import volumes would reach 15m tonnes in 2006.

In terms of imports into China, the most popular grades were old newspapers with 2.9m tonnes and OCC with 2.2m tonnes in 2001. The CEPI representative said that mixed grades accounted for 0.8m tonnes and high grades for 0.5m tonnes. The EU exported one million tonnes of recovered paper to China. The largest supplier of material for the Chinese market was the USA with 4.1m tonnes. He added that Hong Kong and Japan each delivered 0.6m tonnes into the country. Chinese industry experts believed that the local collection rate stood at just 20 per cent, according to Mr Hyvärinen.

Maarten Kleinweg de Zwaan from the European Recovered Paper Association (ERPA) pointed to possible negative effects relating to new identification and traceability requirements for recovered paper. Mr Kleinweg de Zwaan warned that "excessive" standards could lead to increases in exports to markets where lower requirements were in place.

Contact: Ingede e.V., c/o Verband Bayerischer Papierfabriken, Oetztaler Str. 5b, D-81373 Munich, Germany, Tel. +49 89 769 2332; Confederation of European Paper Industries (CEPI), 250 avenue Louise, B-1050 Brussels, Belgium, Tel. +32 2 6274911; ERPA c/o BIR, Avenue Franklin Roosevelt 24, B-1050 Brussels, Tel. +32 2 6275770. □

[annexe 9]

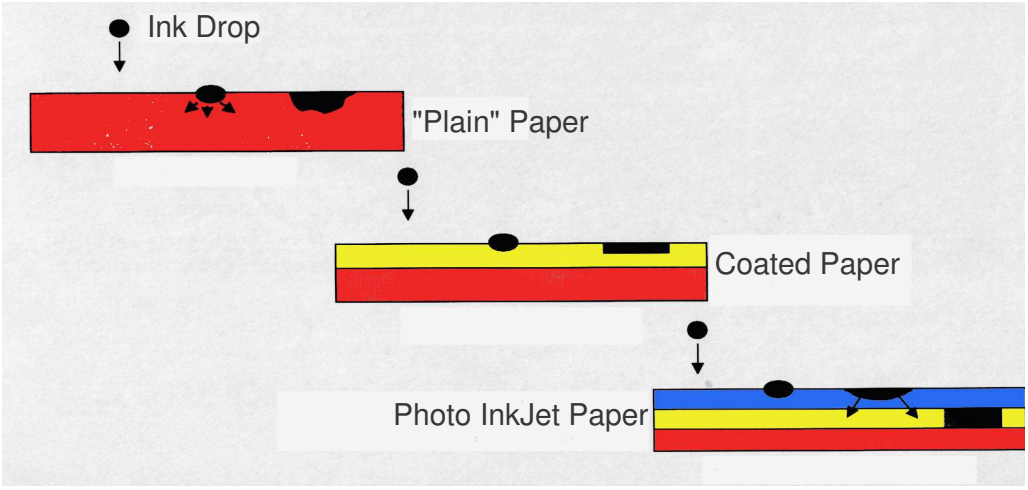


Source : Pixel coverage, document Ricoh.

[annexe 10]

InkJet Paper

? Ink Absorption Process on different Papers:



Copyright UPM-Kymmene Group August 17, 2003 27

[annexe 11]

INGEDE, Press Release 1/96

Printing inks leave traces in the deinking sludge

New printing inks could possibly prevent problems concerning the utilisation of deinking sludge. INGEDE plans to support a pilot project with new chlorine-free yellow ink

The key process in paper recycling is deinking: the printing ink is washed out of the wastepaper. This process leaves the so-called deinking sludge to dispose of. Over 50 per cent of this are natural minerals, such as **kaolin** or **calcium carbonate**. Kaolin is a clay mineral used, in particular, for the manufacture of porcelain and ceramics. Among the most familiar forms of calcium carbonate are marble, chalk or boiler scale (lime) in coffee machines. The paper industry applies kaolin and calcium carbonate as fillers and components of coating pastes filling the inter-fibre spaces and thus enhancing the writing and printing quality of the paper.

In addition to kaolin and lime, the remaining substances also contain waste fibres and insoluble, coloured or black printing ink components, namely pigments. These remaining substances constitute an excellent aggregate in **cement and brick production**. The fibres contained therein are particularly welcome here, since they burn in the brick kiln and leave pores reducing the brick's weight and enhancing its insulating properties. However, traces of **chloric impurities** in the deinking

remaining substance as well as heavy-metal traces of copper and zinc may cause certain problems with regard to some forms of utilisation. The organic compounds of chlorine (**"OX"**) stem from particular **printing inks** getting into the paper mill together with the wastepaper.

On behalf of the International Research Association Deinking Technology (INGEDE e. V.), the **Papiertechnische Stiftung** (**PTS**, Foundation of Paper Technology) in Munich examined the content of such impurities. The examination revealed that printing inks release an average of 75 milligrams of OX per kilogram **wastepaper** into the deinking process, since the desired concentration of printing inks in the deinking process also results in elevated levels of attendant material which, in turn, impair certain ways of utilisation.

Depending on the respective use, a **substitution by chlorine-free printing inks** turns out to be difficult. For yellow scale colours of all common printing processes, chloric pigments have been used so far all over the world. For many years now, these pigments have replaced plumbiferous yellow pigments commonly used in the past. Various companies have now developed **yellow pigments** which **do not contain any organically-fixed chlorine**. These pigments of different manufacturers which are all similar in structure are particularly suited for water-soluble colours, ultraviolet colours as well as solvent-containing package printing. However, these pigments have not been very common so far due to various reasons: Firstly, yellow printing inks containing these pigments do not always meet the required standards as to shade of colour, intensity of colour and light-fastness. Secondly, as in many development projects, a broader use is still too expensive.

INGEDE endeavours to launch a **pilot project** together with a manufacturer and a major user which is to examine various aspects of utilisation as well as effects on the deinking process and resulting remaining substances. Currently, talks are under way with a major environmental protection organisation interested in chlorine-free manufacture of its printing products. **First printing test results** are expected in the forthcoming months.

However, a **final evaluation** of these pigments is not yet available. It might be possible that the apparent advantages to the environment due to the use of chlorine-free substances are compensated or even overcompensated by their **more expensive and complicated synthesis**.

INGEDE is an association of leading European paper manufacturers aiming at promoting utilisation of wastepaper and improving the conditions for an extended use of wastepaper.

15 March 1996

If you have any questions we will try to help you:

INGEDE e. V.
Public Relations
Oetztaler St 5 B
81373 München, Germany

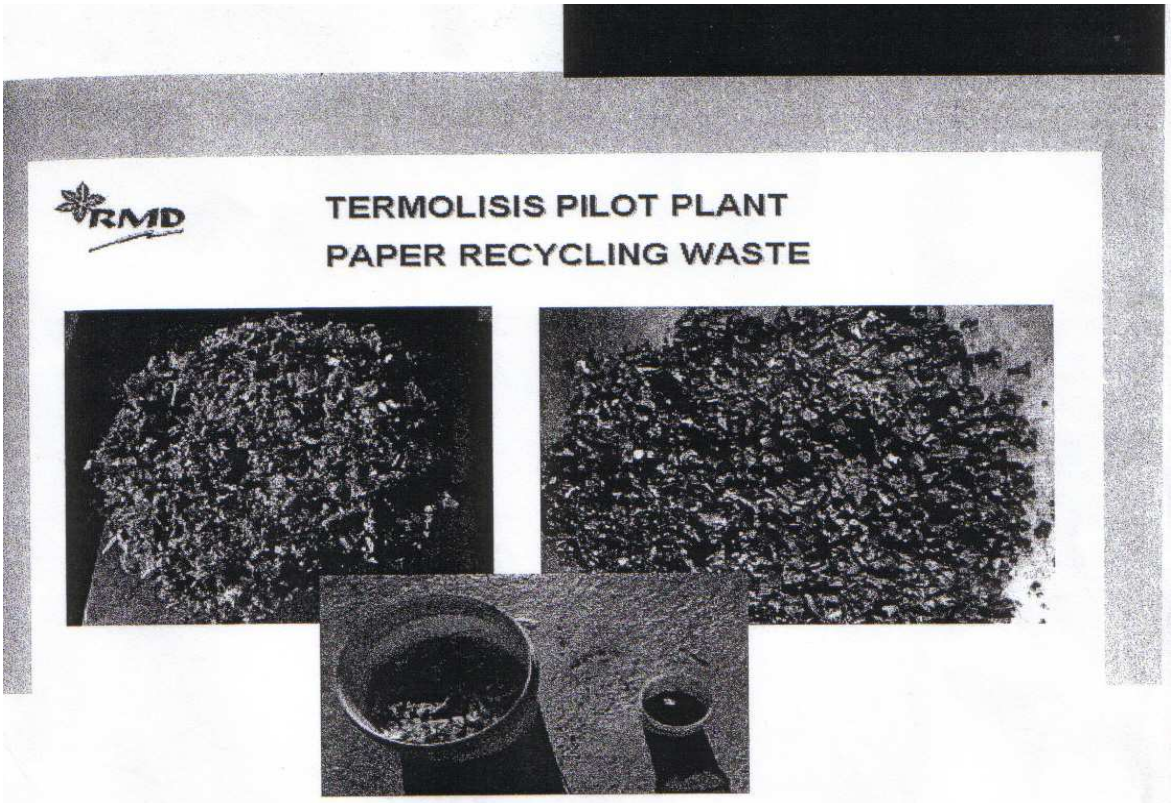
Tel. +49 89 769 2332 – within Germany: (089) 769 2332
Fax +49 89 769 2338 – within Germany: (089) 769 2338

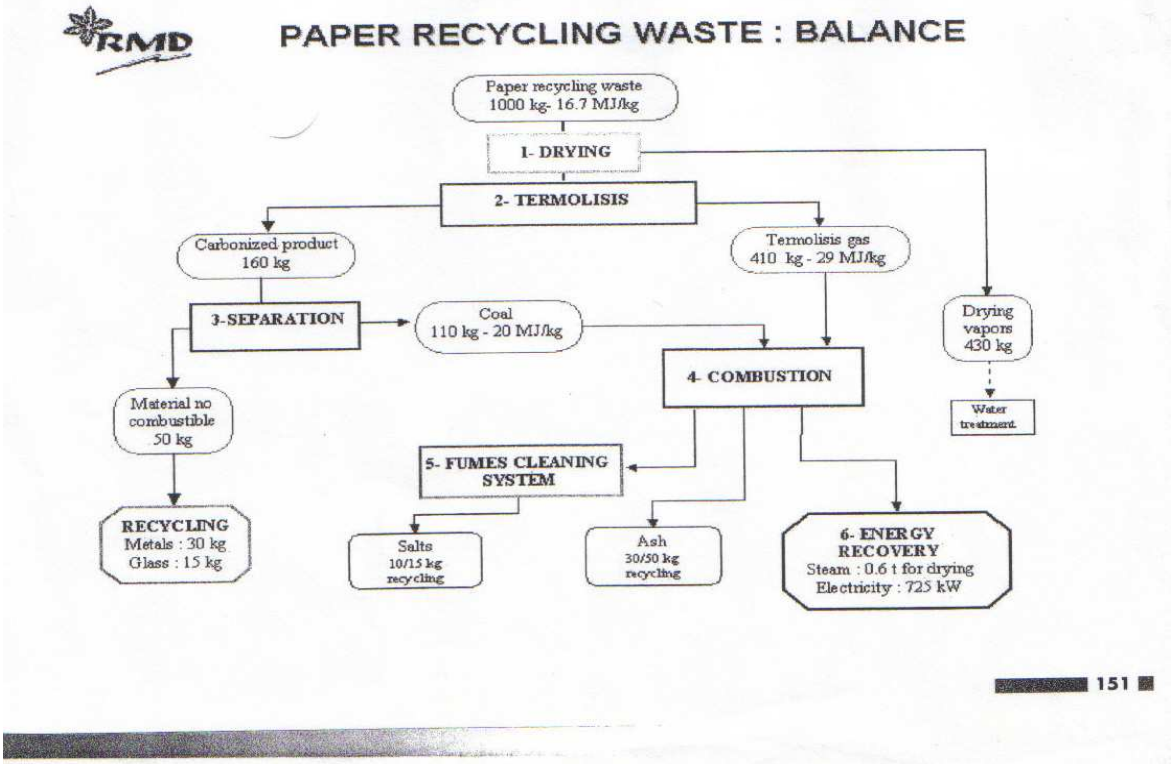
Last update: Feb 10, 1998 ; Email: info@ingede.com

[annexe 12]

Achilles heel of deinkingresidue incineration is ASH
Pulp & Paper Int. 1996
Convert deinking residue into Products
Input is residue
Inorganic fraction
- Kaolinite
- Calciumcarbonate
Organic fraction
- Cellulose, fillers, latex
Water
Output is Product
Mineral product
- Meta-kaolinite
- Calciumcarbonate
- Calciumoxide
Energy, CO2
Vapor
CDEM

[annexe 13]


RMD
TERMOLISIS PILOT PLANT
PAPER RECYCLING WASTE


RMD
PAPER RECYCLING WASTE : BALANCE
Paper recycling waste
1000 kg- 16.7 MJ/kg
1- DRYING
2- TERMOLISIS
Carbonized product
160 kg
Termolisis gas
410 kg - 29 MJ/kg
3-SEPARATION
Coal
110 kg - 20 MJ/kg
Drying
vapors
430 kg
4- COMBUSTION
Water
treatment
Material no
combustible
50 kg
5- FUMES CLEANING
SYSTEM
RECYCLING
Metals : 30 kg
Glass : 15 kg
Salts
10/15 kg
recycling
Ash
30/50 kg
recycling
6- ENERGY
RECOVERY
Steam : 0.6 t for drying
Electricity : 725 kW
151

[annexe 14]

Guide to an Optimum Recyclability of Printed Graphic Paper

1. Introduction

This paper deals with the recycling of recovered graphic paper, for the production of graphic paper. For packaging, other recycling techniques apply.

In recent years the recycling of recovered paper in the manufacture of graphic papers has increased considerably.

Today recovered paper is, in terms of quantity, a most important raw material for the European paper industry. Now, in particular newsprint consists increasingly of recycled graphic paper. The treatment of recovered paper starts with the separation of non-paper components, and is followed by the removal of the printing ink in the flotation-deinking process. The share of printing ink in average recovered paper mixtures amounts to ca. 2% by weight. However yields of de-inked pulp (DIP) are only between 75% and 85%, because besides the printing ink and adhesives, fragments of paper fibres and parts of the mineral fillers and coating pigments are also removed.

The result of the recovered paper treatment depends on many factors (e.g. quality of the paper, type of printing process, properties of the printing ink, etc). Moreover the ageing process and climatic conditions during the life cycle of the print products can influence the result.

In many countries it has recently become increasingly difficult in de-inking pulp mills to maintain the customary standards of yield and brightness of DIP. The reasons for this are manifold:

· Because of increasing collecting rates throughout Europe and inappropriate systems currently used for the collection of used paper destinated to be de-inked, requirements of recovered paper quality are not met; e.g. due to higher shares of board or aged products.

· The increase in the recycling of recovered paper leads to lower shares of virgin fibres in recovered paper.

· The trend in newspaper printing to apply growing quantities of ink onto ever thinner paper brings an unfavourable quantitative ratio of ink / paper.

To make up for these unfavourable developments, equipment used in deinking plants is constantly being extended. However to maintain the achieved standard, it is also necessary that everyone involved in the paper chain - including parties placing the order and designers of print products - give due consideration to the requirements of recycling.

2. Processes

Various process steps must be evaluated in the technical process of graphic recovered paper treatment.

2.1. Separation of non-paper components

As a matter of principle, operators of deinking plants see non-paper components in an unfavourable light, because they increase waste quantities. However, quite often, such components cannot be avoided. To impede the de-inking process as little as possible, the following requirements are important:

· Non-paper components should be dimensioned and mechanically stable in such a way that they survive as large particles, without being comminuted, in the conditions of pulping and allow mechanical separation by means of punched screens, slot screens and centrifugal purifiers. Relevant examples are cover foils, staples, thick adhesive layers, various product samples.

· Materials applied in very small dimensions or disintegrating into very small parts are unfavourable because they cannot be removed using today's conventional sorting methods.

2.2. Removal of the printing ink film

The next step is to remove the printing ink film from the paper fibres. In the case of prints on coated paper there is, of course, no contact between printing ink and paper fibres. Here no problems arise, because the paper coating disintegrates as the recovered paper is pulped and fragments of the ink film are released. On uncoated paper the adhesion of printing ink to paper depends, firstly, on paper properties such as surface structure, fibre type, ash contents, etc and, secondly, the drying mechanism of the chosen printing process. Printing inks, which form firmly sticking, tenacious printing ink films are more

difficult to remove from the fibre. Examples are inks drying by polymerisation (oxidative drying, radiation curing). The ageing of offset inks based upon oxidative drying materials can also significantly reduce the deinkability.

2.3. Soluble and redispersable components

Recovered paper components, which dissolve in the process under standard conditions of deinking (pH 8 - 10) and reach the process water, pose a risk of unintended spreading to all parts of the papermaking machine. Problems occur when sticky residues - stickies - form upon redrying. In principle, stickies can be removed only by tedious manual work, when the machine must be switched off. A well-known way in which stickies form is the agglomeration of dispersed or dissolved auxiliary materials, e.g. water-soluble or redispersable adhesives, papercoating binders, coatings, varnishes and printing ink constituents. A similar - albeit very rare - problem arises when dyes from paper or printing ink dissolve initially in water and subsequently move onto clean paper fibres.

The requirement therefore is that recovered paper should contain as few components as possible, which dissolve or disperse in weakly alkaline medium and form sticky residues or cause discolourations.

2.4. Flotation

Flotation, which is the most common process currently used in Europe, is the essential step to remove printing inks. Supported by surface-active substances, printing ink particles gather on the surface of air bubbles. This process works at an optimum with printing ink particles sized between 20 - 100 µm. Thus, the loaded air-bubbles streams upward through the paper pulp. On the surface of the flotation cell, a dark foam segregates, which contains printing ink, fragments of paper fibre, fillers and paper-coating pigments. Particles smaller or bigger than the optimum particle size are floated with less efficiency. In some cases water-based printing inks are used for flexo-newspaper printing or publication gravure printing. These inks may contain binders soluble in the alkaline range. Consequently in deinking, such inks do not break up into fragments of printing ink film but into pigment particles, smaller than 1 µm in size. These particles are much too small for flotation. Printing ink particles too large for the flotation process occur in cases of tenacious, crosslinked ink films in thick layers on coated paper. This problem can arise in connection with coated papers and UV inks or conventional sheet-fed offset inks coated with UV varnishes. When such coarse printing ink particles are obtained, the paper mill still has the option of comminuting them in a disperser and floating them once again. Likewise, paper mills whose furnish contains a proportion of water-borne flexo newsprint and therefore particles too small to float, often utilise an optional washing cycle. However this is usually only necessary when the proportion of water-borne flexo newsprint exceeds 5% of the total recovered paper.

3. Recyclability assessment

Development and design of printed products are dynamic. Materials and processes, too, are subject to technical innovations. Therefore it is necessary that all parties involved evaluate their products as to good recyclability if major changes are made to materials and processes. Solutions are available to the various problems highlighted in this guide. These solutions must be examined in each individual case. In this examination, additional criteria, e.g. production quality, economic efficiency, environmental protection, occupational safety, etc have to be included in the assessment.

Institutes and paper mills throughout Europe have developed their own assessment methods. With the help of these methods it can be estimated whether printed products meet the criteria of recyclability. Harmonisation is recommended. When assessing whether the criteria of recyclability have been fulfilled, the relevance of the quantity of the examined print product must be taken into account with regard to its deinking performance and the final properties of the recovered substrate.

4. Recovery of residues from the deinking process

The paper industry is eager to reuse residues generated in recovered paper treatment or to find external possibilities of reuse. Technical and economically feasible options are available. Here it is important that individual constituents do not impair the reuse of residues.

5. Updating

Statements made in this guide will be reviewed and revised if necessary.

March 2002

Addendum

Non Impact Printing Inks

The quantity of printed office paper in collected paper for recycling is growing at a rate of 20% per annum. Most of this paper is printed by non-impact printing methods such as photocopiers, laser printers and, to a much lesser extent, jet

printers. Inks used in photocopiers and laser printers are often referred to as 'toners' and are often in a dry fine powder form.

Toners are coloured thermoplastic polymers that are usually based on pigments (not dyes). They contain low levels of additives used to help confer electrostatic properties, but essentially their fusing/fixing properties are of greatest interest in the recycling process, and are dominated by the thermoplastic polymer.

In normal use, particles of the dry toner are developed onto a photoreceptor and transferred to paper. At this stage the toner is still in the form of discrete particles, ~10µm in size. The paper then passes through some form of high temperature fusing system and this is where the problem arises, in terms of eventual recycling. During the fusing process the toner polymer melts, wetting and adhering to the paper fibres. At the same time the discrete particles merge forming much larger solidified 'lumps' depending on the size of the image; typically text. The toner is then well bonded to the paper fibres. The toners bond large numbers of paper fibres together which neither float nor sink in the flotation process and consequently are retained in the DIP causing a 'speckling' problem much like in the case of UV inks. Likewise, paper-mills whose furnish contains a proportion of office waste have the option to break them down (communition) in a disperser and repeating the flotation process again. Ink jet inks, commonly used on paper and found in office waste are usually water based dye types. The inks contain little or no resin component and the dye is completely water-soluble. In the flotation cell the dye redissolves and cannot be separated and subsequently moves onto the paper fibres as described in section 2.3. The recommendation is therefore the same, that recovered paper should contain as few components as possible that may cause discolouration.

March 2002

Source: www.paperecovery.org

[annexe 15]

Difference Between Dyes and Pigments

PIGMENTS	DYES
Pros • high light permanence • reduced dye/media interactions • water resistance • high opaqueness	Pros • high color brilliance • penetration into layer • stable inks, solutions • high transparency • binds well
Cons • graininess • lower gamut and transparency • poor layer penetration • cost • more difficult ink formulation	Cons • lower permanence • prone to diffusion • media interaction issues

Copyright UPM-Kymmene Group July 27, 2003 25

[annexe 16]

Les types d'impressions

There are three primary types of commercial printing processes that utilize presses and plates: lithography, intaglio (ingraving & gravure), and relief printing (flexography & letterpress). Additionally, screen printing, inkjet, laser, and various digital printing processes are used by commercial and quick printers.

A. **Desktop Printing**

Describes inkjet, laser, and other desktop printing technologies

1.Laser :

Definition: Static electricity is the principle behind **laser** printers. A revolving drum or cylinder builds up an electrical charge. A tiny laser beam pointed at the drum discharges the surface in the pattern of the letters and images to be printed creating a surface with positive and negative areas. The surface is then coated with toner, a fine powder that is positively-charged so it clings only to the negatively-charged areas, and is then passed onto the paper to form the positive image. The paper then passes through heated rollers fusing the toner to the paper. Color lasers make multiple passes, in order to mix the different color toners.

Speed and lower operation costs make laser printers attractive to many businesses. Although black and white models (black toner) are relatively inexpensive and common in many homes and small offices, color lasers are still too expensive for most consumers. Laser printers have their own command language which translates the digital information in a file into the bitmap images printed on the page. Adobe PostScript capabilities found in many laser printers make them popular with graphic designers and desktop publishers who often utilize EPS images and PostScript files. Hewlett-Packard's PCL language is another popular command language used by laser printers.

In 1984 Hewlett-Packard produced the LaserJet, the first desktop laser printer. The following year, Adobe introduced PostScript, the industry standard Page Description Language (PDL) for professional typesetting. That same year Apple was the first to manufacture a desktop laser printer that contained PostScript — the LaserWriter printer. These desktop laser printers and technologies helped to launch the era of desktop publishing.

2.Inkjet :

Definition: Typically, an **inkjet** printer forms images by spraying tiny droplets of liquid ink onto paper. The small size and precision placement of the dots of ink allow inkjet printers to produce very near photo-quality images.

Two primary inkjet technologies are thermal bubble or bubble jet and piezoelectric. The former uses heat and the latter uses a crystal and an electric charge to apply the ink. Less expensive models of inkjet printers have all ink in a single cartridge while the better inkjet printers provide individual cartridges for each color of ink so that you only replace the empty ones.

Some inkjet printers employ a hybrid dye-sublimation process. The color is contained in cartridges, heated, vaporized, and laid down a strip at a time rather a page at a time creating an effect closer to continuous tone than traditional inkjet technology.

Currently, inkjet printers are the primary printer for home, home offices, and many small businesses. They are inexpensive and produce good color output but can be slow. Best results are normally achieved when printing to specially coated inkjet or photo papers.

« Dye-sublimation » :

Definition: Dye-Sublimation printers use high heat and solid dyes to produce photo lab-quality images. They contain a roll of transparent film made up of page-sized panels of color. Solid dyes in cyan, magenta, yellow, and black are embedded in the plastic film. Heating elements in the print head vaporize the inks which adhere to a specially-coated paper. As the ink cools on the paper it re-solidifies. The intensity of the color is controlled by precise variations in temperature.

Dye-sublimation printers lay down color in continuous tones one color at a time, instead of dots of ink. Because the color is absorbed into the paper rather than sitting on the surface, the output is more photo-realistic, more durable, and less vulnerable to fading than other ink technologies.

Some inkjet printers employ a hybrid dye-sublimation process. The color is contained in cartridges, heated, vaporized, and laid down a strip at a time rather a page at a time.

Dye-sublimation printers are favored by some graphic designers for high-end proofing and by some businesses who want to produce the best possible color materials in-house.

« Dot Matrix » :

Definition: Dot matrix printers are known as impact printers. They create an image on paper by striking pins against an inked ribbon. The ink is transferred to the paper as closely shaped dots that form each character. The more pins, the better the print quality. 24-pin dot matrix printers can print at near letter-quality.

Today most dot matrix printers for the home market are extremely inexpensive and have been mostly superceded by inkjet printers. The biggest draw of dot matrix printers, especially for some business applications is their ability to print to continuous multi-page forms.

B.**industrial Printing**

1.Impression « Lithography » :

Definition: Unlike relief and intaglio printing where the image to be printed is raised above or sunk below the surface of the printing plate, in **lithography** the printing surface is flat with both image and non-image areas at the same level on the printing plate. Invented in 1798 by Alois Senefelder, lithography uses the fact that oil and water don't mix as the basis of the printing process. A flat stone such as limestone or a metal plate is treated so that the image area attracts oil-based inks and the wet non-image areas repel the oil-based inks. Lithography may be used in fine art printmaking. Offset lithography, one of the most commonly used commercial printing processes for most desktop publishing projects, uses the lithographic process.

« Offset Lithography »

Definition: The most commonly used commercial printing process is **offset lithography**. Rather than pressing inked images onto paper using plates with raised or etched plates, an image is transferred to the paper using oil-based inks, chemically-treated plates made from photographic negatives, and an offset cylinder. The image and non-image areas of the printing plate are on the same surface.

In brief, the offset lithography process works by first transferring an image photographically to thin metal, paper, or plastic plates. Rollers apply ink and water to the plates. Since oil and water don't mix, the oil-based ink doesn't adhere to the non-image areas. Only the inked image portion is then transferred to a rubber blanket (cylinder) that then transfers the image onto the paper as it passes between it and another cylinder beneath the paper. The term offset refers to the fact that the image isn't printed directly to the paper from the plates, but is offset or transferred to another surface that then makes contact with the paper. Offset lithography or offset printing is used on both sheetfed and web offset presses.

2.Impression « Intaglio » :

Definition: In the various **intaglio printing** methods, the area of the image to be printed is recessed into the surface of the printing plate and the recessed areas are filled with ink. The incised image may be etched, engraved with chemicals or tools. Intaglio printing is used for printing U.S. paper currency and for other fine art printmaking. The image to be printed is incised into the plates, the incisions filled with ink, and excess ink wiped from the plates. Heavy pressure is applied to transfer the ink from the plates to the paper, leaving the surface slightly raised and the back side slightly indented. Other forms of printing that use the intaglio process include engraving and gravure.

Examples: engraving | gravure

« Gravure » :

Definition: With **gravure** printing an image is etched on the surface of a metal plate, the etched area is filled with ink, then the plate is rotated on a cylinder that transfers the image to the paper or other material. Like flexography, gravure printing is often used for high-volume printing of packaging, wallpaper, and giftwrap using fast-drying inks. Although less common, gravure printing may also be used for printing magazines, greeting cards, and high-volume advertising pieces.

« Ingraving » :

Definition: Used for fine wedding invitations and sometimes business cards and letterhead, **engraving** creates a raised surface on the front of the paper. A metal die with an impression cut into the surface is filled with an opaque engraving ink then pressed against paper creating raised areas of the paper coated with ink. The raised effect is similiar in appearance to thermography without the glossy look but the process is not the same and the cost is generally higher. Also called « Intaglio ».

3.Impression « Relief » :

Definition: In **relief printing** the image to be transferred to paper (or other surface) is raised above the surface of the printing plate. Ink is applied to the raised surface then rolled or stamped onto the substrate. The process is similiar to using an inkpad and stamp. Letterpress and flexography are forms of relief printing. Although the image to be printed is raised on the printing plate, it does not necessarily create relief or raised lettering such as found in embossing and thermography.

Examples: flexography | letterpress

« Flexography » :

Definition: Frequently used for printing on plastic, foil, acetate film, brown paper, and other materials used in packaging, **flexography** uses flexible printing plates made of rubber or plastic. The inked plates with a slightly raised image are rotated on a cylinder which transfers the image to the substrate. Flexography uses fast-drying inks, is a high-speed print process, can print on many types of absorbent and non-absorbent materials, and can print continuous patterns (such as for giftwrap and wallpaper). Some typical applications for flexography are paper and plastic bags, milk cartons, disposable cups, and candy bar wrappers. Flexography printing may also be used for envelopes, labels, and newspapers.

« Letterpress » :

Definition: The oldest form of printing, in **letterpress** printing ink is applied to the raised portions of a metal or hard plastic plate which is then pressed on the paper or other substrate. Mostly replaced by offset printing and other processes, letterpress printing is still used for some newspapers, books, and limited edition prints. Letterpress may also be used for printing business cards, letterhead, posters, and some forms.

Source: www.desktoppub.about.com

[annexe 17]

Les différentes imprimantes (S.O.H.O.) existantes :

IMPRIMANTE

Définition : Périphérique permettant de transférer du texte ou des images sur du papier ou un transparent.

Types d'imprimantes

On peut classer les imprimantes selon plusieurs critères.
La distinction la plus répandue s'effectue entre imprimantes avec impact ou sans impact.

Imprimantes avec ou sans impact :

Les imprimantes avec impact frappent physiquement le papier, les exemples les plus courants étant les imprimantes à marguerite ou à tulipe. Ces deux types d'imprimantes portent un jeu complet de caractères, chacun d'eux étant situé à l'extrémité d'une barre de frappe différente. Toutes ces barres sont rattachées à un moyeu central de manière à former une rosace.

Les imprimantes sans impact regroupent tous les autres modèles d'imprimantes, et plus particulièrement les imprimantes laser, thermiques et à jet d'encre.

Autres classifications

Il existe d'autres méthodes de classement des imprimantes.
La technologie d'impression permet de distinguer les imprimantes matricielles (dotées de matrices de petites aiguilles), à jet d'encre, laser et, beaucoup plus rarement, à marguerite ou à tulipe.
On subdivise en outre les imprimantes matricielles selon le nombre d'aiguilles que comprend la tête d'impression : 9, 18, 24, etc.
La formation des caractères est un autre critère de classement : les caractères peuvent être pleins formés de lignes continues (imprimantes à marguerite) ou bien composés de grilles de points (imprimantes matricielles, imprimantes à jet d'encre et imprimantes thermiques). On considère en règle générale que les imprimantes laser, bien qu'appartenant techniquement à la catégorie des imprimantes matricielles, produisent des caractères pleins, les points étant extrêmement petits et rapprochés.
La méthode de transmission peut être de type parallèle (transmission octet par octet) ou bien de type série (transmission bit par bit). Ces catégories sont définies selon la manière dont les données d'impression sont envoyées à l'imprimante plutôt que suivant leurs propriétés mécaniques.
Enfin, l'impression peut être effectuée caractère par caractère (imprimantes matricielles, à jet d'encre, thermiques et à marguerite), ligne par ligne (imprimantes à bande, à chaîne et à tambour, couramment associées à de grands systèmes informatiques) ou page par page (imprimantes électrophotographiques, comme les imprimantes laser).
On classe également les imprimantes en fonction de leur capacité d'impression : texte uniquement, ou texte et graphique. Les imprimantes texte, qui comprennent la plupart des imprimantes à marguerite et à tambour, ainsi que certaines imprimantes matricielles et laser,
ne peuvent reproduire que les caractères pour lesquels elles disposent de grilles de comparaison. Les imprimantes texte et graphique (matricielles à aiguilles, à jet d'encre, laser et autres) peuvent reproduire tous les types d'images en « dessinant » chacune d'entre elles sous forme d'une grille de points

Les imprimantes à jet d'encre..

La technologie du jet d'encre a été inventée par Canon, elle repose sur le principe simple mais efficace qu'un fluide chauffé produit des bulles. Le chercheur qui a découvert ce principe avait mis accidentellement en contact une seringue remplie d'encre et un fer à souder, cela créa une bulle dans la seringue qui fit jaillir de l'encre de la seringue.
Les têtes des imprimantes actuelles sont composées de nombreuses buses (jusqu'à 256), équivalentes à plusieurs seringues, qui sont chauffées entre 300 et 400°c plusieurs fois par seconde grâce à un signal pulsionnel.
Chaque buse produit une bulle minuscule qui fait s'éjecter une gouttelette extrêmement fine. Le vide engendré par la baisse de pression aspire une nouvelle goutte ...

Les imprimantes lasers.

L'imprimante laser reproduit à l'aide de points l'image que lui envoie le PC par le port LPT. Grâce au laser, les points sont plus petits et la définition est meilleure.

Fonctionnement:

Un ionisateur de papier charge les feuilles positivement.
Un ionisateur de tambour charge le tambour négativement.
Le laser quant à lui (grâce à un miroir qui lui permet de se placer)
charge le tambour positivement en certains points. Du coup, l'encre du toner chargée négativement se dépose sur les parties du toner ayant été chargées par le laser, qui viendront se déposer sur le papier.
Ainsi, l'imprimante laser n'ayant pas de tête mécanique est beaucoup plus rapide et moins bruyante.

Les imprimantes matricielle.

Elle permet d'imprimer des documents grâce à un va-et-vient de la tête sur le papier. La tête est constituée de petites aiguilles, poussées par des électro-aimants, qui viennent taper contre un ruban de carbone situé entre la tête et le papier.
Ce ruban de carbone défile pour qu'il y ait continuellement de l'encre dessus.
A chaque fin de ligne un rouleau fait tourner la feuille.
Les imprimantes matricielles les plus récentes sont équipées de têtes d'impression comportant 24 aiguilles, ce qui leur permet d'imprimer avec une résolution de 216 points par pouce.

les imprimantes a marguerite.

Les imprimantes à marguerite sont basées sur le principe des machines dactylographique.
Tous les caractères sont imprimés en relief sur une matrice en forme de marguerite.
Pour imprimer, un ruban imbibé d'encre est placé entre la marguerite et la feuille de telle façon que lorsque la matrice frappe le ruban, celui-ci dépose de l'encre uniquement au niveau du relief du caractère.

Source : http://users.skynet.be/fa073053/imprimante.htm

[annexe 18]

Analyse de toners mesure faite sur :

Sequential X-ray Spectrometer SRS 3000 (Siemens)

Laboratoire de chime industrielle (ULB)

Echantillon n°1		% résidu=	3,5		
		% perte au feu			
Compton	1,8	(700°C)=	96,5		
Rayleigh	11,2	Concentration	Stat. Dev. 1	Depth 1	%W/W minéraux
Compound Formula	nZ				
C	6	85	6,9	3,4 um	87,72727273
O	8	8,5	0,58	0,91 um	8,772727273
Ti	22	0,924	0,0062	0,33 mm	1,661443617
Si	14	0,553	0,0086	19 um	0,994348831
Cu	29	0,25	0,0021	1,4 mm	0,449524788
Al	13	0,11	0,0046	13 um	0,197790907
Ca	20	0,043	0,0017	0,18 mm	0,077318264
Cl	17	0,032	0,0017	63 um	0,057539173
P	15	0,022	0,0021	29 um	0,039558181
S	16	0,01	0,00089	43 um	0,017980992
K	19	0,0025	0,00066	0,13 mm	0,004495248
% total =		95,4465	% minéraux =	1,9465	3,5

Echantillon n°2		% résidu	2,1		
		perte au feu			
Compton	1,85	(700°C)	97,9		
Rayleigh	1,54	Concentration	Stat. Dev. 1	Depth 1	%W/W minéraux
Compound Formula	nZ				
C	6	97	7,4	2,6 um	87,9287037
O	8	11	0,69	0,73 um	9,971296296
Na	11	0,076	0,0076	3,7 um	0,113007151
Al	13	0,12	0,0048	10 um	0,178432344
Si	14	0,485	0,0075	15 um	0,721164059
P	15	0,027	0,002	23 um	0,040147277
S	16	0,0084	0,00063	35 um	0,012490264
Cl	17	0,49	0,0043	51 um	0,72859874
K	19	0,0027	0,0005	98 um	0,004014728
Ca	20	0,0332	0,0012	0,14 mm	0,049366282
Ti	22	0,17	0,0015	0,25 mm	0,252779155
I	53	0	-0,008	65 mm	0
% total =		109,4123	% minéraux =	1,4123	2,1

Echantillon n°3		% résidu	2,13		
		perte au feu			
Compton	1,85	(700°C)	97,87		
Rayleigh	1,57	Concentration	Stat. Dev. 1	Depth 1	%W/W minéraux
Compound Formula	nZ				
C	6	91	7,1	3,2 um	89,59929577
O	8	8,4	0,62	0,80 um	8,270704225
Al	13	0,096	0,0046	11 um	0,189895988
Si	14	0,473	0,0082	18 um	0,935633358
P	15	0,016	0,0019	26 um	0,031649331
S	16	0,01	0,00089	39 um	0,019780832
Cl	17	0,016	0,0013	58 um	0,031649331
Ca	20	0,0278	0,0014	0,16 mm	0,054990713
Ti	22	0,438	0,0043	0,30 mm	0,866400446
% total =		100,4768	% minéraux =	1,0768	2,13

Echantillon n°4		% résidu	49,59		
		perte au feu			
Compton	1,51	(700°C)	50,41		
Rayleigh	0,919	Concentration	Stat. Dev. 1	Depth 1	%W/W minéraux
Compound Formula	nZ				
C	6	54	8,6	1,2 um	35,35246753
O	8	23	0,83	0,91 um	15,05753247
Na	11	0,18	0,016	1,9 um	0,399716989
Al	13	0,1	0,0068	4,7 um	0,222064994
Si	14	0,627	0,013	7,1 um	1,392347512
S	16	0,308	0,0061	15 um	0,683960181
Cl	17	0,068	0,0032	22 um	0,151004196
Ca	20	0,0045	0,00099	58 um	0,009992925
Cr	24	0,0068	0,0014	0,17 mm	0,01510042
Mn	25	0,057	0,003	0,22 mm	0,126577047
Fe	26	20,98	0,045	0,28 mm	46,58923574
% total =		99,3313	% minéraux =	22,3313	49,59

Echantillon n°5		% résidu	1,23		
		perte au feu			
Compton	1,67	(700°C)	98,77		
Rayleigh	1,49	Concentration	Stat. Dev. 1	Depth 1	%W/W minéraux
Compound Formula	nZ				
C	6	77	7,3	3,4 um	76,82111111
O	8	22	0,89	1,2 um	21,94888889
Si	14	0,691	0,01	20 um	0,820554161
S	16	0,116	0,0028	44 um	0,1377486
Cl	17	0,0017	0,00083	63 um	0,002018729

K	19	0,004	0,00075	0,13 mm	0,004749952
Ca	20	0,0043	0,00074	0,18 mm	0,005106198
Ti	22	0,215	0,003	0,33 mm	0,255309905
Sn	50	0,0038	0,00043	58 mm	0,004512454
% total =		100,0358	% minéraux =	1,0358	1,23

Echantillon n°6		% résidu	1,38		
		perte au feu			
Compton	0,0917	(700°C)	98,62		
Rayleigh	0,382	Concentration	Stat. Dev. 1	Depth 1	%W/W minéraux
Compound Formula	nZ				
C	6	78	6,9	19 um	93,12784504
O	8	4,6	0,94	34 um	5,492154964
Si	14	1,31	0,011	0,17 mm	0,385952178
Ti	22	1,54	0,0042	1,4 mm	0,453714774
Fe	26	0,024	0,00081	2,0 mm	0,00707088
Cu	29	1,66	0,002	3,8 mm	0,489069172
Sn	50	0,15	0,0074	41 mm	0,044192997
% total =		87,284	% minéraux =	4,684	1,38

Echantillon n°7		% résidu	49,27		
		perte au feu			
Compton	2,3	(700°C)	50,73		
Rayleigh	1,04	Concentration	Stat. Dev. 1	Depth 1	%W/W minéraux
Compound Formula	nZ				
C	6	65	8,9	1,1 um	33,30757576
O	8	34	1	0,77 um	17,42242424
Al	13	0,036	0,004	4,2 um	0,088924763
Si	14	0,57	0,011	6,4 um	1,407975414
P	15	0,011	0,0022	9,4 um	0,027171455
S	16	0,017	0,0012	14 um	0,041992249
Cl	17	0,052	0,002	20 um	0,12844688
Ca	20	0,025	0,0012	54 um	0,061753308
Ti	22	0,011	0,00043	96 um	0,027171455
Cr	24	0,0092	0,00013	0,16 mm	0,022725217
Mn	25	0,019	0,00068	0,21 mm	0,046932514
Fe	26	18,95	0,032	0,26 mm	46,80900718
Ni	28	0,0061	0,0014	87 um	0,015067807
Cu	29	0,24	0,0015	0,11 mm	0,592831753
% total =		118,9463	% minéraux =	19,9463	49,27

Echantillon n°1	encre HP C4119 A	cyan
Echantillon n°2	encre HP C4119 B	jaune

Echantillon n°3	encre HP C4119 C	magenta
Echantillon n°4	encre HP C4119 D	noire
Echantillon n°5	encre HP C 3105 D	noire
Echantillon n°6	encre HP C 3102 A	cyan
Echantillon n°7	F11 toner Océ	noire

[annexe 19]

Styrene acrylate LCI calculation:	**LCI methyl methacrylate monomer**	**LCI styrene**	**LCI styrene acrylate approx. (pondéré)**
energy to produce 1 Kg (MJ)	111,41	83,64	97,86365854
resources (mg to produce 1 Kg)			
crude oil	730000	54,06	373928,8098
gas	1400000	30,82	717088,2049
coal	270081	1,7	138335
lignite	79000	0,1	40463,46341
wood	45	0,01	23,05365854
raw material (mg to produce 1 Kg)			
bauxite	420	730	571,2195122
sulphur (as SO 2)	0	12	5,853658537
sulphur	41000	26	21012,68293
sodium chloride	30000000	1500	15366585,37
calcium sulphate	0	19	9,268292683
sand	3300	110	1743,902439
iron ore	300	840	563,4146341
limestone	7100	2100	4660,97561
water (cooling)	0	150000000	73170731,71
water (process)	36000000	4200000	20487804,88
barytes	74	0	37,90243902
nitrogen	22000	0	11268,29268
oxygen	530000	0	271463,4146
potassium chloride	29	0	14,85365854
air emmissions (mg to produce 1 Kg)			
dust	5700	1200	3504,878049
CO	5800	1100	3507,317073
CO2	5500000	2500000	4036585,366
Sox	26000	7800	17121,95122
Nox	24000	9900	17121,95122
N2O	1	0	0,512195122
hydrocarbons	6700	2500	4651,219512
CH4	28000	9700	19073,17073

H2S	4	0	2,048780488
HCl	120	14	68,29268293
Cl2	1	0	0,512195122
HF	6	0	3,073170732
Pb	1	0	0,512195122
Metals	10	8	9,024390244
F2	1	0	0,512195122
Mercaptans	1	0	0,512195122
Organo-Cl	1	0	0,512195122
aromatic- HC's	1	160	78,56097561
others organics	2800	3	1435,609756
CFC/HCFC	1	0	0,512195122
aldehydes	110	0	56,34146341
HCN	16	0	8,195121951
H2SO4	1	0	0,512195122
H2	240	17	131,2195122
Hg	1	0	0,512195122
Nh3	34	0	17,41463415
water emmissions (mg to produce 1 Kg)			
COD	990	350	677,804878
BOD	230	25	130
acis as H+	250	43	149,0243902
dissolved solids	540	96	323,4146341
hydrocarbons	58	77	67,26829268
NH 4 +	3000	9	1540,97561
suspended solids	1400	290	858,5365854
phenol	14	4	9,12195122
Al 3+	1	0	0,512195122
Ca 2+	51	0	26,12195122
Cu 2/3 +	1	0	0,512195122
Fe 2/3 +	1	0	0,512195122
Hg	1	0	0,512195122
Mg 2+	10	0	5,12195122
Na +	14000	650	7487,804878
K+	1	0	0,512195122
Ni 3 +	1	0	0,512195122
Zn 2 +	1	0	0,512195122
other metals	250	510	376,8292683
No 3 -	2	1	1,512195122
other nitrogen	6	7	6,487804878
Cl -	8500	3600	6109,756098
SO 4 --	30000	180	15453,65854
CO 3 --	1	0	0,512195122
phosphate as P 20 5	580	0	297,0731707
detergent/oil	61	62	61,48780488
dissolved Cl 2	1	0	0,512195122
organo-Cl	1	0	0,512195122
dissolved organics	2300	32	1193,658537

other organics	1	2	1,487804878
sulphur/sulphide	1	1	1
solid waste emmissions (mg to produce 1 Kg)			
mineral	73000	16000	45195,12195
mixed industrial	11000	1300	6268,292683
slags/ash	18000	2000	10195,12195
inert chemical	4900	1200	3095,121951
regulated chemical	850	580	718,2926829
unspecified	3	14	8,365853659
construction	1	24	12,2195122
metals	56	10	33,56097561
to incinerator	3	780	382,0243902
to recycling	1	0	0,512195122
plastics	9	0	4,609756098
packaging	0	2	0,975609756

MM MMA= 105g/mol MM styrene= 100g/mol

Sources: Eco-profiles of the European plastic industry; report 14: polymethyl methacrylate; Dr. I. Boustead, September 1997.

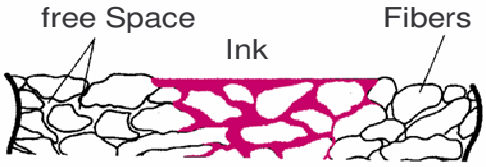
Eco-profiles of the European plastic industry; report 4:polystyrene; Dr. I. Boustead, April 1997.

[annexe 20]

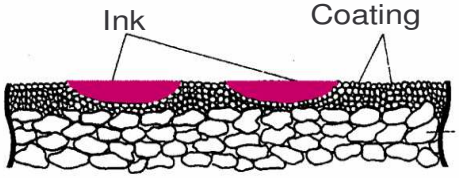
InkJet Paper

- Ink Absorption Process:

"Plain" Paper without Coating

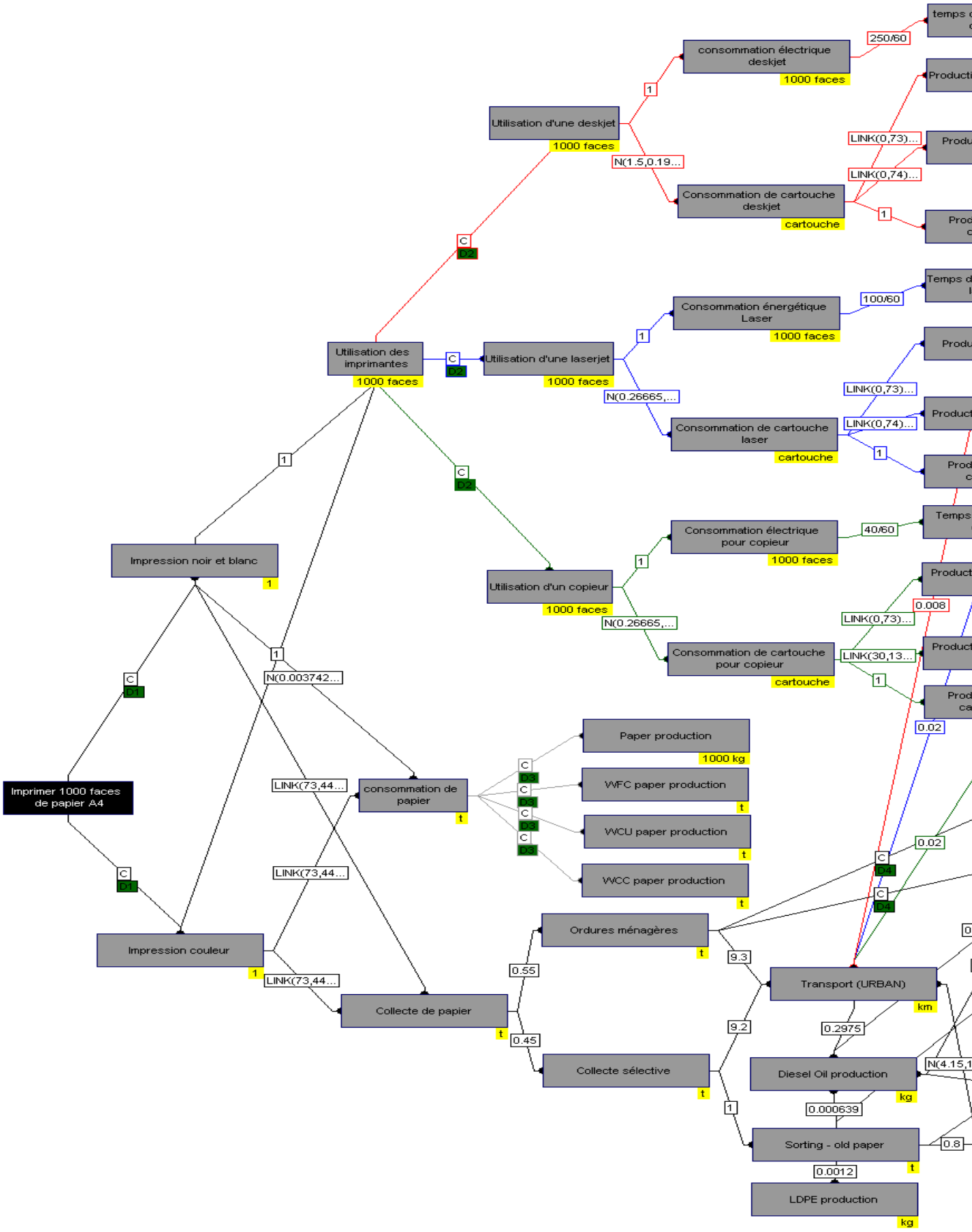


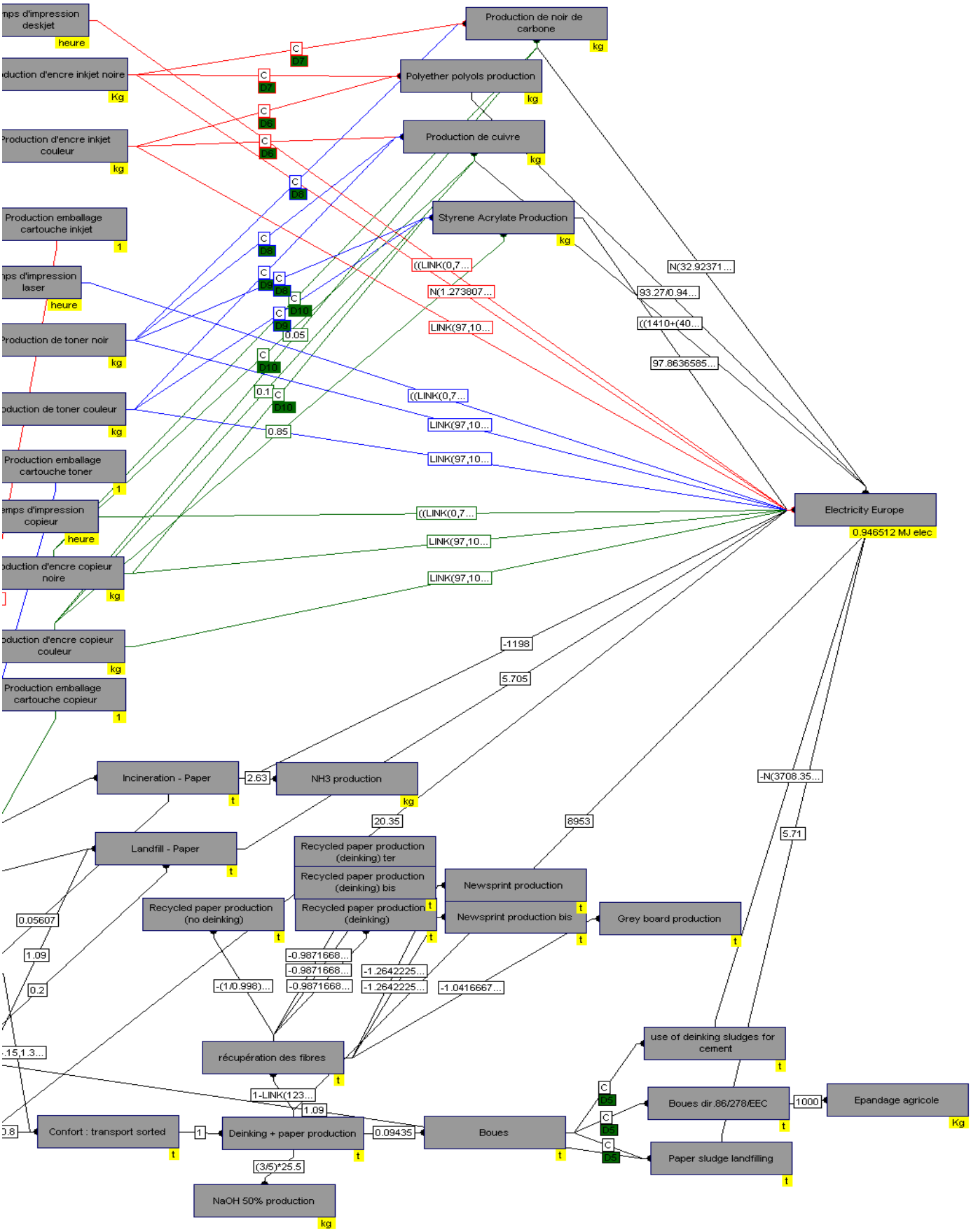
Paper with Coating



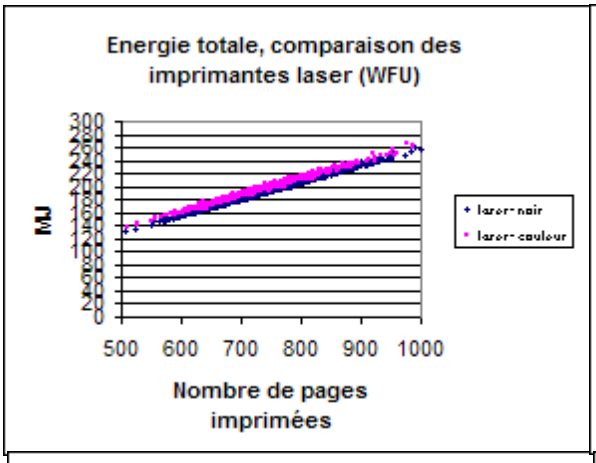
Copyright UPM-Kymmene Group

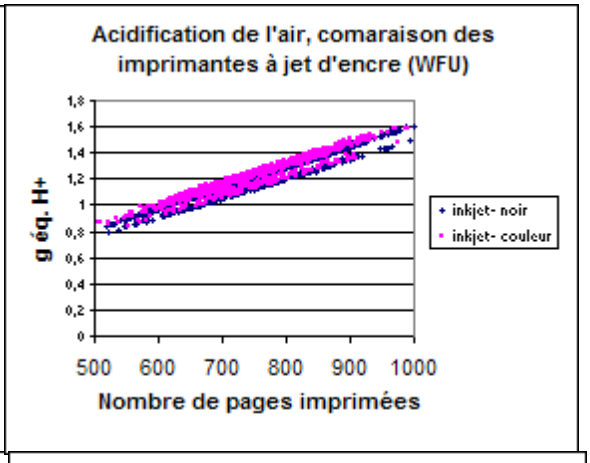
[annexe 21]

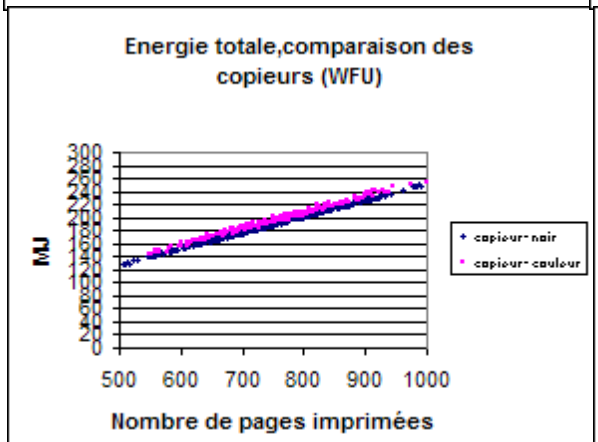

Imprimer 1000 faces de papier A4
Impression noir et blanc
Impression couleur
Utilisation des imprimantes
1000 faces
Utilisation d'une deskjet
1000 faces
consommation électrique deskjet
1000 faces
Consommation de cartouche deskjet
cartouche
Utilisation d'une laserjet
1000 faces
Consommation énergétique Laser
1000 faces
Consommation de cartouche laser
cartouche
Utilisation d'un copieur
1000 faces
Consommation électrique pour copieur
1000 faces
Consommation de cartouche pour copieur
cartouche
consommation de papier
t
Paper production
1000 kg
WFC paper production
t
WCU paper production
t
WCC paper production
t
Collecte de papier
t
Ordures ménagères
t
Collecte sélective
t
Transport (URBAN)
km
Diesel Oil production
kg
Sorting - old paper
t
LDPE production
kg
N(0.003742...
LINK(73,44...
LINK(73,44...
LINK(73,44...
N(1.5,0.19...
N(0.26665,...
N(0.26665,...
LINK(0,73)...
LINK(0,74)...
LINK(0,73)...
LINK(0,74)...
LINK(0,73)...
LINK(30,13...
250/60
100/60
40/60
0.008
0.02
0.02
0.55
0.45
9.3
9.2
0.2975
0.000639
0.0012
0.8

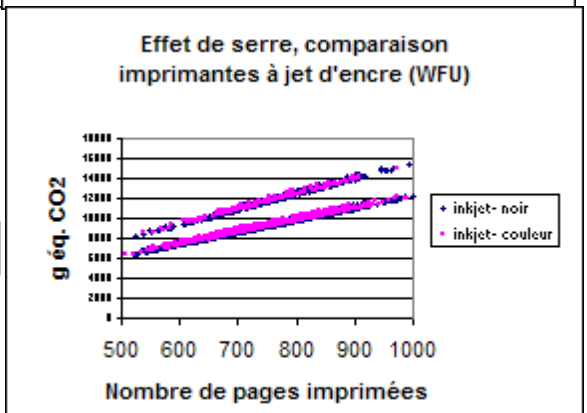

Production de noir de carbone
kg
Polyether polyols production
kg
Production de cuivre
kg
Styrene Acrylate Production
kg
Electricity Europe
0.946512 MJ elec
Incineration - Paper
t
NH3 production
kg
Landfill - Paper
t
Recycled paper production (deinking) ter
Recycled paper production (deinking) bis
Recycled paper production (deinking)
Recycled paper production (no deinking)
Newsprint production
Newsprint production bis
Grey board production
récupération des fibres
Confort : transport sorted
Deinking + paper production
Boues
use of deinking sludges for cement
Boues dir.86/278/EEC
Epandage agricole
Paper sludge landfilling
NaOH 50% production
Production d'encre inkjet noire
Kg
Production d'encre inkjet couleur
kg
Production emballage cartouche inkjet
Production de toner noir
kg
Production de toner couleur
kg
Production emballage cartouche toner
Production d'encre copieur noire
kg
Production d'encre copieur couleur
kg
Production emballage cartouche copieur
heure
1
((LINK(0,7...
N(1.273807...
LINK(97,10...
N(32.92371...
93.27/0.94...
((1410+(40...
97.8636585...
0.05
0.1
0.85
-1198
5.705
2.63
20.35
8953
-N(3708.35...
5.71
0.05607
1.09
0.2
-(1/0.998)...
-0.9871668...
-1.2642225...
-1.0416667...
1-LINK(123...
1000
0.09435
(3/5)*25.5

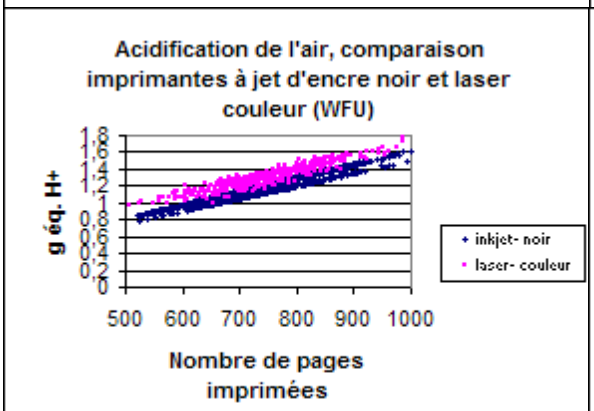
[annexe 22]

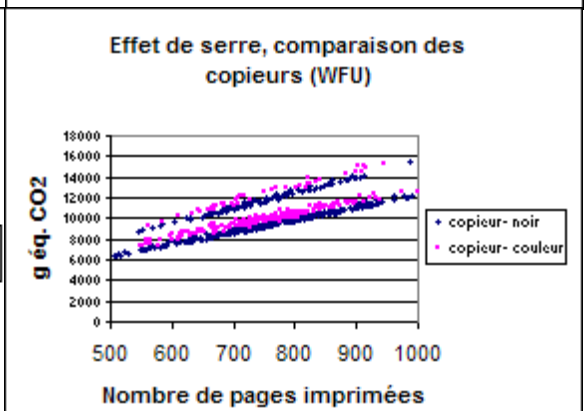

Energie totale, comparaison des imprimantes laser (WFU)
MJ
Nombre de pages imprimées
laser- noir
laser- couleur

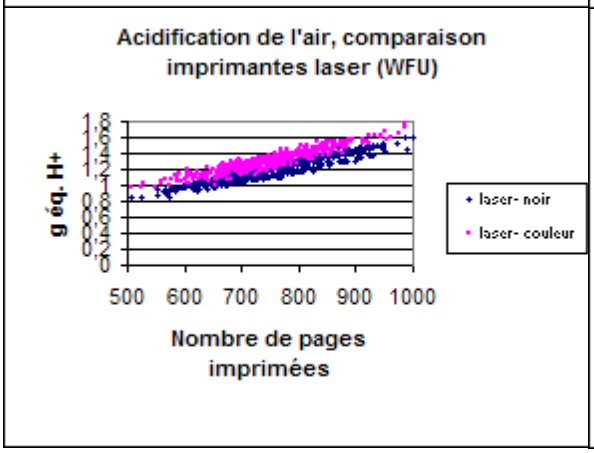

Acidification de l'air, comaraison des imprimantes à jet d'encre (WFU)
g éq. H+
Nombre de pages imprimées
inkjet- noir
inkjet- couleur

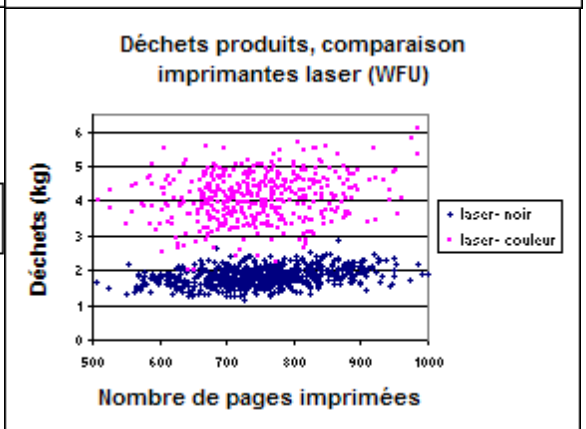

Energie totale,comparaison des copieurs (WFU)
MJ
Nombre de pages imprimées
copieur- noir
copieur- couleur

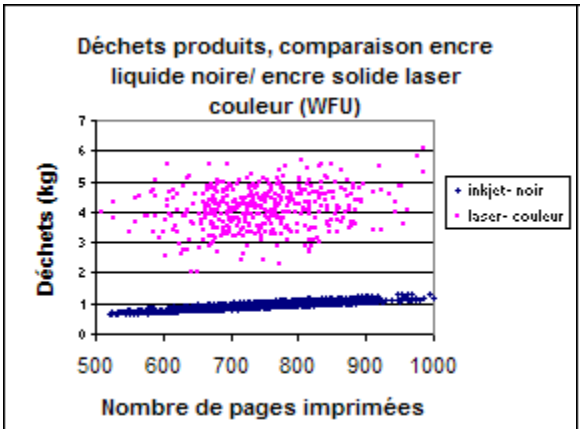

Effet de serre, comparaison imprimantes à jet d'encre (WFU)
g éq. CO2
Nombre de pages imprimées
inkjet- noir
inkjet- couleur

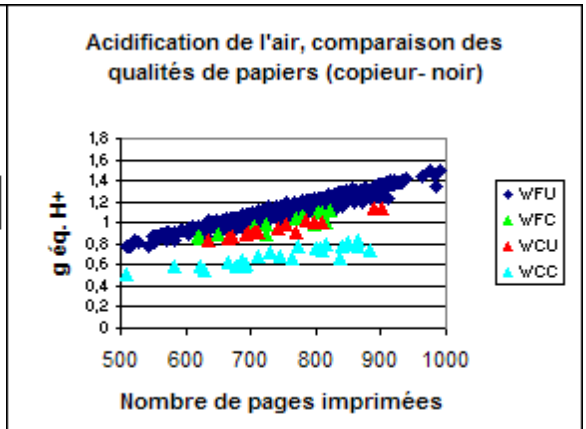

Acidification de l'air, comparaison imprimantes à jet d'encre noir et laser couleur (WFU)
g éq. H+
Nombre de pages imprimées
inkjet- noir
laser- couleur

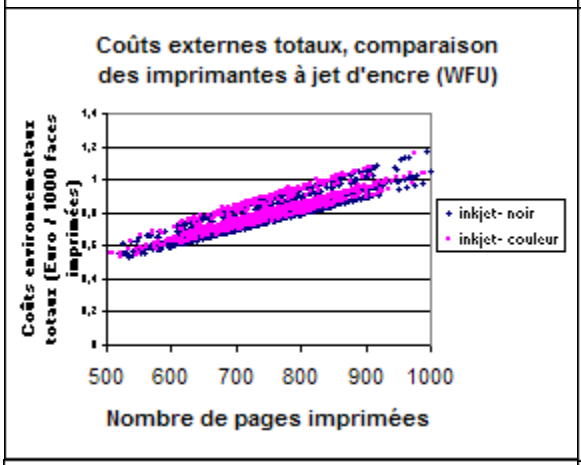

Effet de serre, comparaison des copieurs (WFU)
g éq. CO2
Nombre de pages imprimées
copieur- noir
copieur- couleur

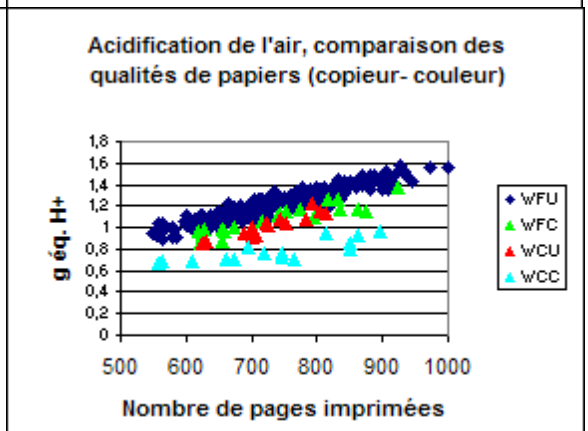

Acidification de l'air, comparaison imprimantes laser (WFU)
g éq. H+
Nombre de pages imprimées
laser- noir
laser- couleur

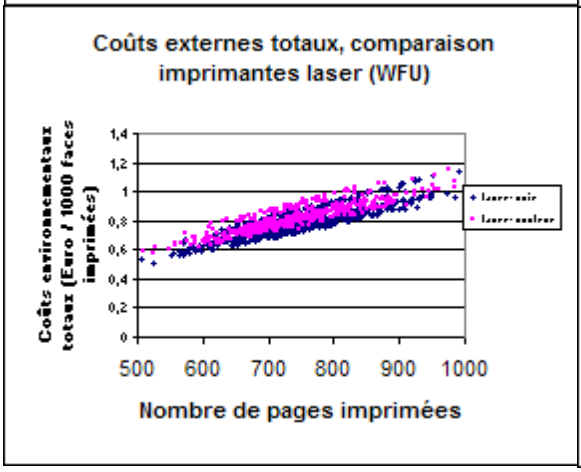

Déchets produits, comparaison imprimantes laser (WFU)
Déchets (kg)
Nombre de pages imprimées
laser- noir
laser- couleur

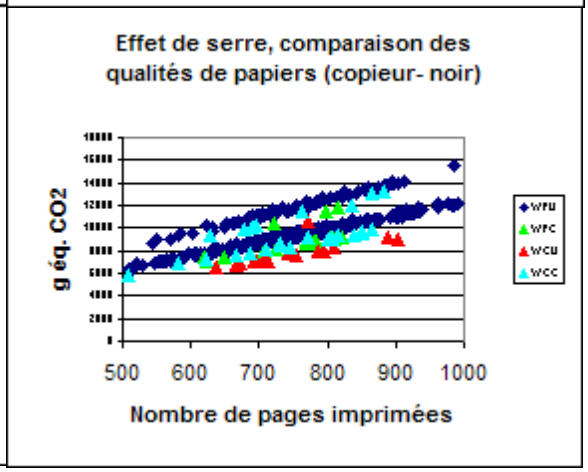

Déchets produits, comparaison encre liquide noire/ encre solide laser couleur (WFU)
Déchets (kg)
inkjet- noir
laser- couleur
Nombre de pages imprimées


Acidification de l'air, comparaison des qualités de papiers (copieur- noir)
g éq. H+
WFU
WFC
WCU
WCC
Nombre de pages imprimées


Coûts externes totaux, comparaison des imprimantes à jet d'encre (WFU)
Coûts environnementaux totaux (Euro / 1000 faces imprimées)
inkjet- noir
inkjet- couleur
Nombre de pages imprimées


Acidification de l'air, comparaison des qualités de papiers (copieur- couleur)
g éq. H+
WFU
WFC
WCU
WCC
Nombre de pages imprimées


Coûts externes totaux, comparaison imprimantes laser (WFU)
Coûts environnementaux totaux (Euro / 1000 faces imprimées)
Nombre de pages imprimées


Effet de serre, comparaison des qualités de papiers (copieur- noir)
g éq. CO2
WFU
WFC
WCU
WCC
Nombre de pages imprimées