

# Les papiers-cartons

## Matériaux fibreux de haute technicité

Dominique Lachenal

### Summary

#### Paper boards. High technicity fibrous materials

The paper consumption regularly increases (by more than 3 % per year) independently of the technological changes which affect our environment. Exclusively devoted to writing and printing at its origins, paper is now present in many other sectors, such as packaging, where it has acquired the first place as raw material. The proper control of the sheet structure from a selection of fibres extracted from wood and non-wood plants, the formation of multi-layer composites from paper sheets possibly associated with metal or polymer films, have contributed to the development of products of low basic weight with excellent physical mechanical and surfaces properties and of total recyclability. The manufacture of paper and derived products requires the use of the most advanced technologies and necessitates huge investments.

### Mots-clés

**Papier, fibres, surface, films minces, recyclage.**

### Key-words

**Paper, fibres, surface, thin films, recycling.**

Avec un niveau mondial dépassant les 300 millions de tonnes, la consommation de papier progresse invariablement de plus de 3 % par an. On est donc loin du monde sans papiers que certains prophétisent depuis des décennies. C'est qu'en fait notre société semble avoir passé au cours des siècles un pacte d'alliance avec ce matériau dont les fonctions se sont considérablement diversifiées. Support de l'écrit par excellence, il est devenu progressivement aussi le premier matériau d'emballage, devant le verre, le plastique, le bois et le métal. En France, le carton représente en poids 36 % de l'ensemble des matériaux d'emballage. Il est également devenu un produit d'usage sanitaire et domestique sans réel concurrent et enfin un auxiliaire dans de nombreuses applications techniques spéciales. La grande variété de ses applications rend le papier relativement peu vulnérable, de sorte qu'une perte éventuelle de position dans un secteur peut passer globalement inaperçue. La masse économique de la filière papier-carton représente environ 2,5 % du PIB mondial.

### L'extraction des fibres cellulosiques du bois

La découverte par Anselme Payen, grand chimiste français du XIX<sup>e</sup> siècle, que la cellulose contenue dans les fibres de bois était la même que dans les fibres de coton, a ouvert la voie à une des grandes mutations que notre société ait connue : la possibilité de fabriquer des quantités quasi illimitées de papier à un coût très faible, alors qu'auparavant l'unique matière première était les chiffons, trop rares et chers pour envisager un réel développement.

Les cellules végétales du bois sont pour l'essentiel sous forme de fibres cellulosiques de longueur variant de 0,5 à 4 mm suivant les essences (0,5 à 2 mm pour les bois feuillus et 2 à 5 mm pour les bois résineux) et de diamètre à l'état humide 20 à 100  $\mu$ . La fabrication du papier nécessite de séparer individuellement ces fibres. Deux types de procédés d'une étonnante efficacité sont utilisés à cet effet.

### Défibrage mécanique

La technologie mise en œuvre consiste ici à séparer les fibres par la seule action mécanique. Quand on considère les dimensions des éléments à séparer, mentionnées ci-dessus, on mesure la performance de cette technologie. Aujourd'hui, 50 % des fibres de bois sortent quasiment intactes de ce travail mécanique. Les autres 50 % ne sont pas des fibres mal séparées mais des fibres individuelles cassées. Le mélange obtenu porte le nom de pâte mécanique. La technologie la plus performante est celle des défibreurs à disques (*figures 1 et 2*). Les plus puissants de ces appareils industriels sont capables de produire plus de 300 tonnes de fibres par jour. Un des inconvénients majeurs de ce procédé est l'énorme consommation d'énergie (environ 3 000 kWh par tonne de fibres).

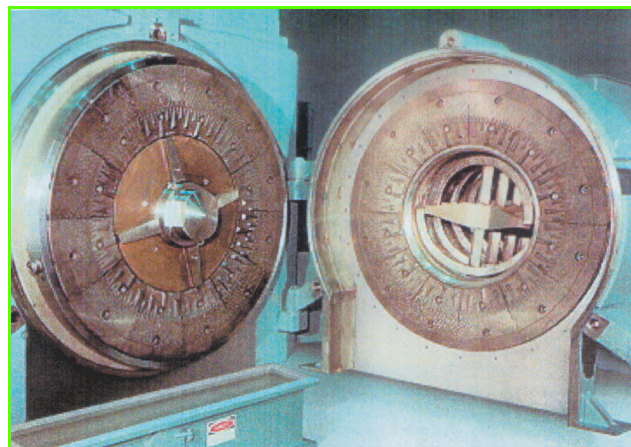


Figure 1 - Photographie d'un défibreur à disques ouvert.

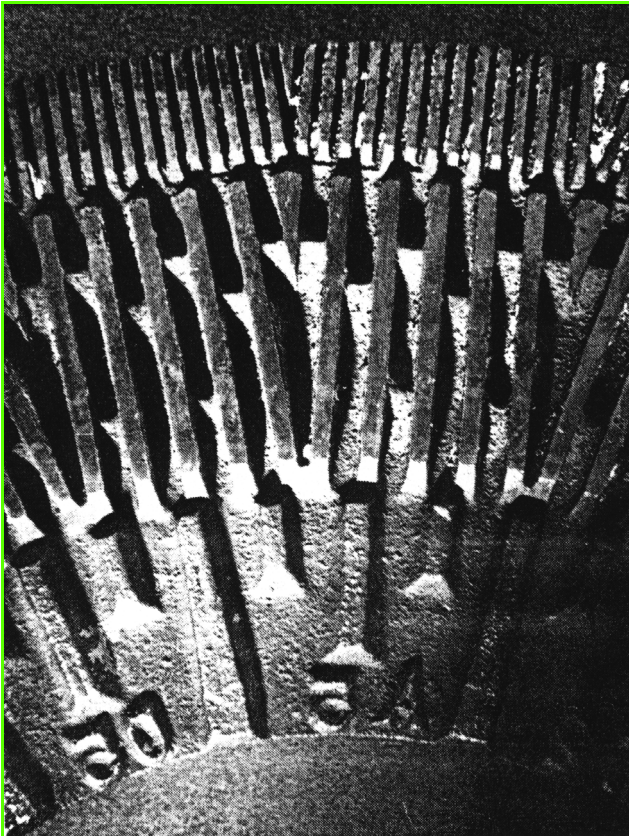


Figure 2 - Profil d'un disque de raffineur.

### Défilage chimique

Les fibres de bois se séparent naturellement les unes des autres lorsqu'on dégrade chimiquement la lignine, polymère qui assure la cohésion du bois et qui joue le rôle de liant entre les fibres. Le principe du procédé le plus utilisé à cet effet (procédé kraft) est vieux de plus de cent ans. Il consiste à traiter le bois par un mélange de soude et de sulfure de sodium. Cependant, ce procédé chimique a été amélioré et optimisé à un tel degré que globalement la séparation des fibres se fait sans consommation de réactifs chimiques ni d'énergie extérieure, la combustion de la lignine extraite couvrant largement les besoins du procédé.

Les fibres ainsi séparées seront réassociées sous forme de feuille dans une machine à papier, monstre de haute

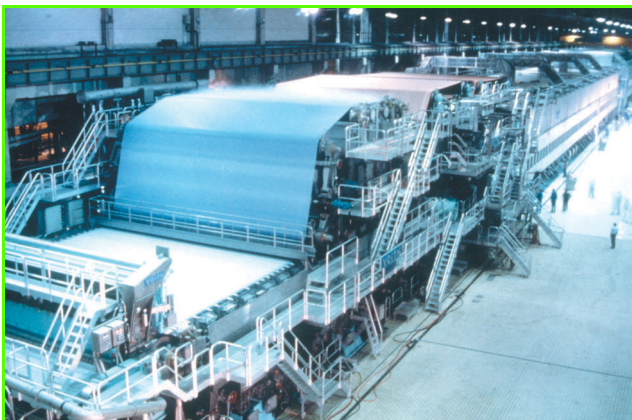


Figure 3 - Machine à papier de l'usine de Corbehem.



Figure 4 - Image au microscope électronique d'une surface de papier d'environ 1 mm<sup>2</sup>.

technologie (figure 3), capable de délivrer sur 10 m de large et à 100 km/h une feuille de 50 à 100  $\mu$  d'épaisseur, constituée de ces fibres minuscules liées entre elles par de simples liaisons hydrogène. L'investissement est ici colossal (150 millions d'euros pour une production de 1 000 t/j).

### La structure d'une feuille de papier

L'utilisation de la microscopie optique, puis électronique, a permis de visualiser la structure du papier, constituée d'un enchevêtrement de fibres (figure 4) partiellement orientées dans le sens de défilement de la toile de la machine à papier. Les caractéristiques mécaniques d'une feuille de papier sont tout à fait remarquables quand on sait qu'aucun liant n'est ajouté pour coller les fibres les unes aux autres. La résistance mécanique d'une feuille dépendra donc d'une part des propriétés intrinsèques des fibres qui la constituent et, d'autre part, de la façon dont le réseau fibreux s'est constitué, ces deux paramètres étant partiellement liés. Ainsi, les papiers d'emballage, très résistants, seront exclusivement constitués de fibres de bois résineux, beaucoup plus longues que les fibres de bois feuillus, réservées aux papiers pour impression et écriture. Des efforts importants ont été réalisés pour comprendre l'origine de cette résistance mécanique et plus généralement pour chercher à relier les propriétés des fibres à la structure du réseau qu'elles forment, et donc aux propriétés du papier. Les avancées les plus marquantes ont été rendues possibles grâce aux progrès considérables de la simulation par ordinateur. La figure 5 donne une représentation en trois dimensions de la structure d'un papier, obtenue par simulation à partir d'hypothèses sur les propriétés des fibres. Il est aujourd'hui possible de simuler ce que deviendra cette structure si ces propriétés sont modifiées. Il devient alors envisageable de fabriquer de nouveaux papiers en jouant sur cette structure, par exemple en mariant des fibres de natures différentes ou en modifiant certains paramètres de la machine à papier.



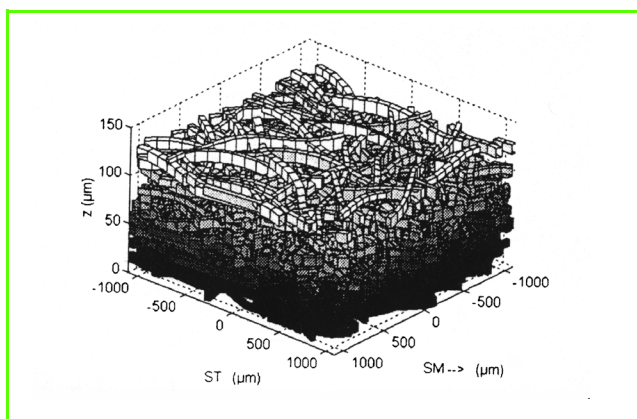


Figure 5 - Simulation en trois dimensions de la structure d'une feuille.

## Les papiers pour impression-écriture

Usages premiers du papier, l'écriture et l'impression constituent aujourd'hui encore une application essentielle de ce matériau, même si sa part dans la destination du papier diminue régulièrement. Dans un pays comme la France, la consommation de papier pour usages graphiques représente encore en volume 50 % de la consommation totale de papier-carton, ce qui reste considérable, le papier journal intervenant pour environ le cinquième de ce chiffre. Pour obtenir un papier apte à cette application, il est nécessaire en général d'ajouter à la suspension fibreuse des produits qui vont modifier dans le sens souhaité certaines des propriétés de la feuille. Ceci dépendra de l'application visée. Dans le cas du papier journal, la suspension fibreuse est pour l'essentiel de la pâte à papier mécanique, de sorte que ce papier a sensiblement la même composition chimique que du bois écorcé. Par contre, dans la plupart des autres applications, sont introduites des charges minérales (qui améliorent la blancheur et l'opacité) et des substances hydrophobes (qui réduisent l'hydrophilie et permettent l'impression par des encres à l'eau). Par ailleurs, en bout de machine à papier, si aucun autre traitement n'intervient, l'état de surface de la feuille est trop irrégulier pour un usage graphique. Des traitements de surface sont réalisés dans le cas de nombreux papiers de façon à corriger la porosité, les irrégularités et modifier certaines autres propriétés de surface. L'encollage, par exemple, est réalisé dans une « size press » positionnée sur la machine à papier et consiste à traiter la surface par une formulation à base d'amidon qui va lier les fibres et charges minérales, ce qui minimisera la formation de poussières et améliorera l'imprimabilité. Ce traitement concerne en particulier les papiers pour impression offset et pour photocopie. Le couchage est une enduction par une substance minérale comme le kaolin, mélangé à des résines synthétiques ou à de l'amidon, dont le but est également d'améliorer l'état de surface et de favoriser l'imprimabilité. Il est réalisé dans une machine d'enduction (coucheuse) à la sortie de la machine à papier. La vitesse avec laquelle doit être réalisée cette opération ainsi que le séchage de la couche est du même ordre que celle des machines à papier, ce qui pose des problèmes de rhéologie et de transfert d'une extrême complexité. Enfin, le calandrage agit sur la surface par compression et friction. Il nécessite lui aussi la mise en œuvre d'une technologie de haute performance compte tenu des vitesses requises et de

la fragilité relative de la feuille à traiter. Les papiers pour magazines sont des papiers couchés et calandrés.

Le défi posé au papier imprimé par les médias électroniques n'a pas la même ampleur suivant le produit concerné. Les supports papiers avec lesquels sont traitées les affaires (imprimés, formulaires, messages et lettres) ont été touchés les premiers, tout comme les encyclopédies et manuels divers. Par contre, les journaux et magazines d'information ou spécialisés ainsi que les publicités papier n'ont pas été affectés. De même, la production de copies papier continue sa croissance à un rythme soutenu, la progression vertigineuse de l'accès à l'information compensant largement le changement d'habitude voulant que l'on copie moins systématiquement. Il est cependant encore trop tôt pour estimer ce que sera la place du papier dans la société de l'information dans laquelle nous sommes entrés, la réponse appartenant *in fine* au consommateur.

## Les papiers d'emballage

Matériau dominant dans le monde de l'emballage, le papier-carton constitue la base d'une gamme diversifiée de produits dont le plus performant mécaniquement est le carton ondulé. Il est constitué en général de 3 feuilles : une feuille ondulée intercalée entre deux feuilles d'habillage. La feuille centrale est cannelée en passant entre deux cylindres, chauffée à 180 °C environ et collée à l'amidon sur la feuille de couverture. Cet ensemble est ensuite collé sur l'autre face à la troisième feuille. Les produits se distinguent par le grammage des différentes feuilles et par le nombre et la hauteur des ondulations. Dans ce domaine également, le plus spectaculaire est la vitesse des machines qui peut atteindre 300 m/min, ce qui impose de réaliser 800 lignes de collage par seconde. Le carton ondulé obtenu est ensuite transformé en différents produits dont les plus courants sont les caisses.

Bien que breveté pour la première fois il y a plus de 100 ans, le carton ondulé a acquis et renforcé des positions dominantes dans l'emballage compte tenu de sa légèreté et de ses qualités de résistance mécanique tout à fait remarquables. Celles-ci sont illustrées souvent à titre promotionnel et publicitaire par la conception de chaises, fauteuils ou tabourets entièrement faits de ce matériau et qui, de façon surprenante, résistent parfaitement à leur utilisation de siège. Le développement du carton ondulé ne connaît aucun essoufflement. A ses atouts mécaniques et à sa légèreté, s'ajoute son entière recyclabilité. A tel point que le papier pour ondulé est aujourd'hui pour plus de 90 % à base de fibres récupérées.

Un autre type d'emballage à dominante papier dont le succès est plus récent, mais non moins spectaculaire, est l'emballage pour liquide (lait et jus de fruits essentiellement). Les propriétés requises (barrière à l'humidité, l'air et la lumière) sont obtenues en réalisant un complexe associant des feuilles de carton à des feuilles de matière plastique, généralement du polyéthylène basse densité, et d'aluminium. Ce dernier constituant peut être remplacé par des films de polymère. Ces structures permettent la longue conservation. Dans le cas de produits liquides frais comme le lait, les emballages sont constitués plus simplement d'une feuille de carton, éventuellement multicouche, portant un film de polyéthylène de chaque côté. Le film de polyéthylène extérieur peut être remplacé par un papier paraffiné. Le recyclage de ces emballages est bien maîtrisé et ils bénéficient d'une excellente image.

Les sacs papiers constituent également une application dans l'emballage mettant en œuvre de gros tonnages. Les papiers pour sacs de grande contenance (sacs ciment par exemple) sont de conception intéressante car ils se caractérisent par une grande résistance mécanique, donc de bonnes liaisons de fibre à fibre, et en même temps par une porosité suffisante pour que l'air puisse s'échapper au moment du remplissage. Des fibres longues sont exclusivement utilisées dans ces matériaux.

Le dernier exemple qui sera donné est celui des emballages carton pour produits surgelés. Le carton se prête très bien à la congélation. Le problème est ici la condensation de l'eau sur le carton au retour à l'atmosphère ambiante. Le carton doit être paraffiné en surface pour éviter que cette eau ne le détériore.

### Les papiers à usage sanitaire et domestique

Ces papiers sont de conception récente, en constante évolution. Bien que représentant un tonnage modeste par rapport aux papiers pour usage graphique ou pour emballage (5 % de l'ensemble des papiers), leur valeur ajoutée est importante et leur croissance très forte. L'examen attentif de leur structure montre toute l'ingéniosité de leur conception. Le nom générique de ces papiers est « tissu ». Ils englobent les papiers toilette, essuie-tout, mouchoirs, serviettes de table... Ces papiers sont souvent constitués de plusieurs nappes, parfois très fines, de fibres de bois non collées, très hydrophiles et dont l'état de surface (douceur par exemple) a été tout particulièrement travaillé. Ces qualités peuvent aujourd'hui être obtenues à partir de fibres de papiers recyclés.

### Les papiers industriels et spéciaux

Ces derniers papiers font appel à des techniques de fabrication de pointe pour des applications très précises. C'est dans ces applications que le papier démontre toute l'étendue de ces potentialités. Il y est recherché pour ses propriétés uniques et la valeur ajoutée est parfois considérable. Les papiers fiduciaires (billets de banque) constituent un bel exemple de papier très technique. Le cahier des charges est particulièrement exigeant. Ce papier doit résister à une manipulation continue pendant des années et posséder par exemple une résistance au pliage exceptionnelle. De plus, différentes astuces de fabrication doivent le rendre infalsifiable. Les fibres de bois ne permettant pas de satisfaire ces exigences, des fibres de coton sont utilisées le plus souvent.

Le papier cigarette a également des caractéristiques très particulières. Il doit être très fin et résistant, ce qui est obtenu par l'emploi de fibres de lin, chanvre ou coton. Sa combustion doit être contrôlée. L'addition de sels en « size press » permet d'obtenir cet effet.

Il est fait appel au papier dans une multitude d'autres applications. Les plus connues sont la filtration, qui met à profit la possibilité de variation de la porosité des structures papier et leur stabilité (filtre à air, huile et carburant des moteurs, filtres à café, filtres de laboratoire, sachets de

thé...), l'isolation électrique, la cellulose possédant des propriétés électriques remarquables, étant à la fois un bon isolant et un matériau polaire (carton pour transformateur, papier pour câble électrique), l'étiquetage qui dans le cas des bouteilles implique pour le papier des exigences de rigidité extrêmement pointues. Les étiquetages sur bouteille de verre se font à des cadences de plus en plus rapides (20 à 30 étiquettes par seconde), le défi étant que les étiquettes restent collées au cours de la prise de la colle. Signalons également la décoration (papiers peints, papiers pour laminés) dont certains sont d'une sophistication extrême en raison des reliefs recherchés.

L'ingéniosité a conduit à développer des papiers aux fonctions encore plus complexes. Un des meilleurs exemples a été le papier autocopiant sur lequel une substance génératrice de coloration est encapsulée. L'écrasement des capsules permet l'écoulement de ce réactif qui va migrer au travers du papier et développer une coloration. Un autre exemple est le papier thermique qui présente une réaction colorée à partir d'un seuil de température compris entre 80 et 120 °C. Dans l'imprimante, une tête d'impression formée d'un assemblage de microrésistances électriques transmet la chaleur à la surface du papier point par point. Ce type de papier est rencontré dans certains fax. Enfin, les papiers électrosensibles sont impressionnés par de petites étincelles électriques qui transpercent la couche de surface, laissant apparaître en-dessous le support conducteur carboné (papier pour horodateur).

### Quel avenir pour le matériau-papier ?

Aucune des mutations de notre société n'est venue ralentir l'augmentation de consommation de papier. Et pourtant, le papier est très fortement concurrencé, aussi bien comme support de l'écrit que comme matériau d'emballage. Rien ne semble y faire. D'où vient cette force étonnante ? De sa structure fibreuse si particulière qui lui confère des propriétés tout à fait exceptionnelles ? De son caractère de produit naturel ? De sa recyclabilité ? De sa convivialité ? De sa simplicité ? De son faible coût ? De son excellente imprimabilité ? De sa pureté ? Tous ces arguments sont effectivement à prendre en compte. Mais la vraie réponse ne serait-elle pas que le papier a pénétré si fortement l'intimité de l'Homme que ce dernier y demeure attaché au-delà de toute raison matérielle ?

#### Dominique Lachenal

est professeur à l'INPG et directeur du Laboratoire de génie des procédés papetiers\*.



\* École Française de Papeterie et des Industries Graphiques, UMR CNRS-INPG-EFPG-CTP 5518, 461 rue de la Papeterie, BP 65, 38402 St-Martin-d'Hères.

Tél. : 04 76 82 69 48. Fax : 04 76 82 69 33.

E-mail : Dominique.Lachenal@efpg.inpg.fr

Site Internet : www.efpg.inpg.fr