



MÉMOIRE

Utilisation des plantes annuelles en papeterie

Nicolas FULLERINGER et Bastien PONSARD

  l ves-ingénieurs 2  année
 Juin 2009

Mise en ligne - Septembre 2009



Avertissement

Ce mémoire d'étudiants est une première approche du sujet traité dans un temps limité.

  ce titre, il ne peut être considéré comme une étude exhaustive comportant toutes les informations et tous les acteurs concernés.



Plan

- I - Introduction
- II - Plantes annuelles utilisées en papeterie
- III - Situation actuelle
- IV - Prospective
- V - Conclusion
- VI - Bibliographie - Webographie
- VI- Annexe

I - Introduction

L'homme a toujours cherché à transcrire des informations sur un support matériel. Après avoir peint sur les parois des cavernes, gravé la pierre, utilisé le papyrus pour tresser un matériau souple, il a choisi la peau animale pour écrire et dessiner. Toutefois, c'est avec la création du papier qu'il a vraiment trouvé de quoi transmettre ses connaissances et laisser une trace sur le long terme.



Figure 1 - Alfa

La pertinence d'utiliser ces plantes annuelles en papeterie est un investissement judicieux sur l'avenir.

Matériau aux propriétés physiques intéressantes à un prix décroissant au fil du temps, le papier est devenu un support universel d'information et de communication. Pour le produire, il a fallu trouver les matières premières adéquates, toujours moins chères et aux caractéristiques sans cesse améliorées. Constitué de fibres végétales, le papier était à l'origine fabriqué à partir de plantes annuelles c'est-à-dire de plantes au cycle de vie inférieur à une année. Mondialement répandues, dotées de propriétés riches et variées, ces végétaux auraient pu conférer au papier une gamme importante de caractéristiques et de coûts. Cependant, avec la découverte de l'usage du bois en papeterie, le recours aux plantes annuelles n'a cessé de décroître pour devenir quasiment négligeable dans les années 70, relégué aux marchés de niche.

Depuis une trentaine d'années, ces plantes annuelles semblent être redécouvertes. Une prise de conscience se fait sur leurs avantages par rapport au bois : répartition géographique, propriétés papetières ou encore gamme de coûts. Avec ce regain d'intérêt et les enjeux industriels induits, étudier

Voir aussi :

- [Le chanvre dans l'industrie papetière](#)
- [Le chanvre de la tradition à la valorisation industrielle](#)
- [Les plantes annuelles de renfort en papeterie](#)
- [Caractérisation de la morphologie des fibres de bois](#)

II - Plantes annuelles utilisées en papeterie

II-1 - Définitions et caractéristiques générales

II-1-1 - Provenance des fibres végétales

Une fibre est une cellule présentant un rapport longueur sur largeur important : de l'ordre de 50 à 100 [Olsen&Plackett, 1998]. Un végétal est par définition un organisme vivant qui végète. Cette définition ne se limite donc pas aux plantes mais s'étend plus généralement aux algues, mousses, fougères, angiospermes et gymnospermes.

Il y a des fibres dans de nombreuses plantes [Tableau 1].

Plante	Groupe	Organe utilisé
Coton	Angiosperme dicot	Feuille
Kapok	Angiosperme dicot	Feuille
Coir de noix de coco	Angiosperme monocot	Fruit et feuille
Lin	Angiosperme dicot	Fruit et graine
Ramie	Angiosperme dicot	Fruit et graine
Chanvre	Angiosperme dicot	Graine
Jute	Angiosperme dicot	Graine foliaire
Sisal	Angiosperme monocot	Tige
Abaca	Angiosperme monocot	Tige
Raphia	Angiosperme monocot	Tige
Papyrus	Angiosperme monocot	Tige
Feuillus	Angiosperme dicot	Tige
Conifères	Gymnosperme	Tige
Blé	Angiosperme monocot	Tige

Tableau 1 - Provenance des fibres végétales

Les fibres se trouvent dans différentes parties du végétal : tiges, feuilles, fruits, graines,... Les fibres constituent généralement l'ossature même du végétal mais n'en représentent pas la totalité [Figure].

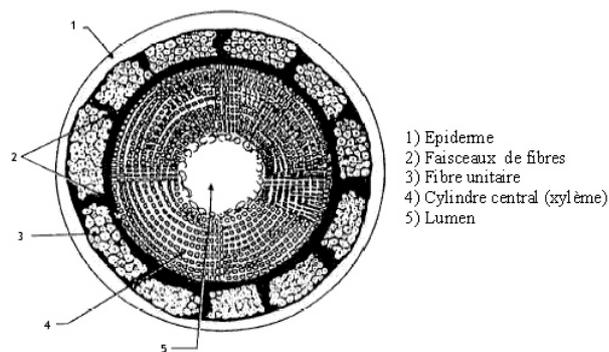


Figure 2 - Coupe de tige de lin indiquant la localisation des fibres

II-1-2 - Plantes annuelles et convention de langage

La papeterie utilise les fibres végétales, riches en cellulose, afin de produire le papier. Ce secteur industriel utilise diverses matières premières. De nos jours, les papetiers utilisent majoritairement les arbres comme source de fibres végétales, mais cela n'a pas toujours été le cas. Notre étude porte sur les fibres végétales non issues du bois ou *non-wood fibres*. La traduction "fibres non-bois" n'étant pas acceptée, l'expression "fibres de plantes annuelles" lui est préférée, à tort cependant. En effet, les plantes annuelles ne sont qu'une partie des plantes non-bois produisant des fibres végétales. Le terme "plantes annuelles" recouvre les plantes dont le cycle de vie est inférieur à un an. Toutefois, il existe également des plantes bisannuelles (cycle de vie de 2 ans) ou vivaces (cycle de vie supérieur à 2 ans). Nous les assimilons à des plantes annuelles lorsque qu'elles sont différentes du bois.

II-2 - Plantes annuelles utilisées en papeterie

II-2-1 - Classement

Nombre de plantes annuelles sont utilisées en papeterie. Elles sont classées en trois catégories [Tableau 2] :

- **Résidus agricoles** : plantes cultivées pour une utilisation principale non papetière.
- **Cultures** : plantes cultivées pour une utilisation principale papetière.
- **Plantes sauvages** : plantes exploitées directement dans la nature.

Ce classement repose sur des enjeux différents :

- Utiliser des résidus agricoles signifie qu'une quantité importante de matières premières peut être disponible pour une revalorisation en usage papetière. C'est une logique d'adaptation du secteur papetier à la source d'approvisionnement. C'est essentiellement le cas des **fibres de masse**, c'est-à-dire des fibres utilisées pour apporter de la matière.
- Utiliser des plantes issues de cultures à usage papetier signifie qu'on a sélectionné le type de fibre souhaité et qu'on l'a exploité d'une façon définie. C'est une logique d'adaptation de la source d'approvisionnement au secteur papetier. C'est essentiellement le cas des **fibres de renfort**, c'est-à-dire des fibres destinées à améliorer les caractéristiques du papier.
- Exploiter des plantes sauvages signifie puiser dans la nature les matières premières nécessaires. C'est alors une logique bien plus locale, d'adaptation d'une papeterie à la région, qui se situe à mi-chemin entre l'utilisation des résidus agricoles et des cultures à usage papetier. On peut alors y trouver des intérêts économiques, sociaux et techniques importants.

Origine	Fibres	Exemples
Résidus agricoles	Fibres de tiges	Bagasse (canne à sucre) Paille de blé Paille de riz Paille de seigle Tiges de maïs Tiges de sorgho Tiges de coton
Cultures	Fibres péri-libériennes	Chanvre Jute Kenaf Lin textile Ramie
	Fibres de feuilles	Abaca Sisal Henequén
	Fibres de graines	Fibres de coton
Plantes sauvages		Alfa Bambou Grande ortie Sabai Papyrus Roseaux
Récupération		Cordes Vieux chiffons

Tableau 2 - Classement des plantes annuelles utilisées en papeterie, par type de production

En annexe, figurent des descriptions plus détaillées de ces plantes et des fibres produites.

La liste, aussi courte soit-elle, représente déjà un vaste domaine qu'il serait difficile d'étudier en totalité. Aussi, il convient de mieux cibler les plantes présentant réellement un intérêt pour l'industrie papetière à court et moyen terme. Pour cela, différents aspects sont pris en compte : la disponibilité, la répartition géographique et les caractéristiques physico-chimiques des fibres.

II-2-2 - Disponibilité des plantes annuelles pour une utilisation papetière

Ce critère permet de déterminer les plantes intéressantes à employer comme fibres de masse (au minimum). Nous nous basons ici sur des données de 1994, qui comparent la disponibilité de plantes annuelles dans le monde pour la mise en pâte. Les données sont chiffrées en million BDMT (*Bone Dry Metric Ton* = tonne pour une siccité de 100%) [Tableau 3].

Type d'exploitation	Fibres végétales	Quantité (million BDMT)
	Paille de blé	600
	Paille de riz	360

R�siduals agricoles	Paille d'orge	195
	Paille d'avoine	55
	Paille de seigle	40
	Tiges de maïs	750
	Tiges de sorgho	252
	Coton	89
	Bagasse	102,2
	Autres r�siduals agricoles	1193,2
	Total	2448,2
Cultures	Fibres péri-libériennes : lin textile, jute, kenaf, chanvre, ramie	13,9
	Fibres de feuilles : sisal, abaca	0,6
	Total	14,5
Plantes sauvages	Roseaux	30
	Bambou	30
	Papyrus	5
	Alfa	0,5
	Total	65,5
Total	2528	
Bois	17500	

Tableau 3 - Disponibilité des plantes annuelles pour la mise en pâte

Pour avoir un ordre de grandeur approximatif de la quantité de pâte qu'il est ainsi possible de produire, elle est d'environ 35% des valeurs affichées ici. On considère effectivement un rendement pâte de 40% et une siccité importante des balles de pâte proche de 90%.

Les quantités disponibles sont faibles en comparaison avec la quantité de bois utilisée (12%). Il n'est donc pas possible de remplacer le bois en papeterie par ces plantes, uniquement de s'en servir comme un matériau d'appoint ou de se concentrer dans des marchés de niche tels que les papiers de spécialité. Par ailleurs, il y a une grande différence de production entre les plantes cultivées ou sauvages, et les r siduals agricoles. Cela s'explique par le fait qu'actuellement, le secteur papetier emploie très peu ces plantes. Par conséquent, les infrastructures ne sont pas en place et le marché n'est pas lancé. Pour utiliser certaines plantes à des fins papetières, il faut développer des méthodes d'exploitation.

II-2-3 - Géographie

  partir des données de l'annexe, un tableau représente les continents où poussent les plantes utilisées en papeterie.

	Afrique	Amérique	Asie	Europe	Océanie
Abaca	-	-	oui	oui	oui
Alfa	oui	-	-	oui	oui
Bambou	oui	oui	oui	-	oui
Canne à sucre	35 600	581 000	544 900	-	37 000
Chanvre	-	4,3	41,1	20,6	-
Coton	1 451	6 058	13 842	350	498
Grande ortie	-	oui	oui	oui	oui
Jute	-	-	98	-	-
Kenaf	oui	oui	oui	-	-
Lin cultivé	-	-	530,5	284	-
Ramie	-	oui	oui	-	-
Sabai	-	-	oui	-	-
Sisal	67,7	288	20	-	-
Paille de céréales	oui	oui	oui	oui	oui

Tableau 4 - Répartition géographique des plantes utilisées en papeterie
Les chiffres correspondent aux productions en kilotonnes par an.
Le tiret signifie que la plante ne pousse pas à cet endroit.

Certaines plantes sont sauvages, aussi les productions sont inconnues ou fauss es. Il ressort que l'Asie est particulièrement riche en plantes annuelles et que seuls le coton et la paille de céréales sont produits sur les cinq continents. Par ailleurs, il existe une grande disparité des plantes sur le plan géographique. L'usage papetier est donc local, difficilement transposable de pays en pays.

II-2-4 - Caractéristiques

Caractéristiques chimiques

La composition chimique des fibres des plantes annuelles est importante pour une utilisation dans la fabrication du papier. Le papetier cherche généralement à récupérer la cellulose et à soustraire la lignine. Étudions donc le pourcentage de cellulose, d'hémicelluloses, de lignine, de cendres et le taux de silice (qui pose des problèmes lors de la cuisson kraft).

	Cellulose	Lignine	Hémicelluloses	Cendres	Silice
	%	%	%	%	%
Riz	28-36	16-16	23-28	15-20	09-14
Blé	29-35	16-21	26-32	04-09	03-07
Fibres de pailles					
Orge	31-34	14-15	24-29	05-07	03-06
Avoine	31-37	16-19	27-38	06-08	04-07
Seigle	33-35	16-19	27-30	02-05	01-04
Sucre	32-44	19-24	27-32	01-05	01-04
Fibres de cannes à					
Bambou	26-43	21-31	15-26	01-05	01-01
Fibres d'herbes					
Alfa (esparto)	33-38	17-19	27-32	06-08	-
Sabai	22-22	23-24	24-24	06-06	-
Fibres de roseaux					
Lin	44-45	22-23	20-20	03-03	02-02
Kénaif	43-47	21-23	24-26	06-06	-
Fibres pénitibériennes					
Jute	31-39	15-19	22-23	02-05	-
Kénaif	45-53	21-26	18-21	01-02	-
Fibres centrales					
Jute	31-44	15-21	18-24	02-04	-
Abaca	41-41	24-24	18-22	01-01	-
Sisal (agave)	60-61	08-09	15-17	01-02	-
Fibres de feuilles					
Sisal (agave)	43-56	07-09	21-24	01-01	-
Fibres de graines					
Linters de coton	80-85	00-00	01-03	01-02	-
Conifères	40-45	26-34	07-14	<1	-
Fibres de bois					
Feuillus	38-49	23-30	19-26	<1	-

Tableau 5 - Propriétés chimiques des plantes annuelles et du bois

Dans ce tableau, deux catégories principales apparaissent :

- **Pailles et fibres de cannes** : résidus de l'exploitation agricole, ces fibres ont un fort taux de silice. L'inconvénient de ce composé est de précipiter sous forme de silicate lors de la cuisson kraft et de boucher les extracteurs ainsi que les canalisations. Cependant, ces fibres ont un taux de lignine assez faibles (entre 15 et 20%), ce qui peut inciter à les utiliser en papeterie.
- **Kenaf, lin, jute, coton, abaca,...** : fibres dont le taux en cellulose et hémicelluloses est supérieur à celui du bois de 50% et peut atteindre jusqu'à 90% pour le coton.

Cette différence marquée par les deux catégories se retrouve dans leurs propriétés physiques et par conséquent, dans l'utilisation de ces groupes de fibres en papeterie.

Propriétés physiques

Ce n'est plus seulement le procédé papetier qui est en jeu, mais également la qualité du papier produit. Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques morphologiques et physiques des fibres de plantes annuelles ainsi que de bois et de fibres synthétiques [Tableau 6].

	Données morphologiques			Masse volumique g/cm ³	Propriétés physiques			
	Longueur mm	Largeur µm	LD		Taux d'humidité à 50% HR	Rigidité Gpa	Résistance à la rupture Mpa	Allongement %
Paille de blé	1,5	18	83					
Bagasse	1,2	15	80					
Bambou	2,4	20	120					
Roseaux	1,4	15	93					
Lin	30	20	1500	1,5	12	28,1	346	
Jute	2,5	20	125	1,5	13,7	25,9	571	
Chanvre	15	22	682	1,48	12	29,2	810	
Ramie	75	50	1500	1,51	6	22,3	823	
Kénaif	2,5	20	125	1,47			1578	
Abaca	5	20	250	1,35		19,5	898	
Sisal	3	20	150	1,45		17	517	
Palmier						14,8	571	
Ananas	4,5	10	450	1,35		15,2	136	
Henequen				1,5		13,5	530	
Coton	18	20	900			8,1	544	
Kapok						19,2		
Feuillus	1,2	30	40					
Conifères	3	35	35					
Fibres de verre				1,35	-	71,6	2721	3
Fibres de carbone				1,77	-	231	3537	1,5
Aramide				1,44	4,5	122,2	2755	2,5
Polyester				1,39	0,4	3,6	965	20
Rayonne Viscose				1,5	12	2,24	938	25
A.rayonne				1,32	6,4	0,6	163	35

Tableau 6 - Caractéristiques morphologiques et physiques des fibres de plantes annuelles, de bois et de fibres synthétiques

La comparaison des données morphologiques montre que les fibres de la première catégorie ont des longueurs (de l'ordre du millimètre) comparables à celles des fibres de feuillus. Cela destine ces fibres au même usage que les fibres de feuillus c'est-à-dire au remplissage conférant au matériau des propriétés mécaniques médiocres. Ce sont des fibres de masse.

De même, quasiment toutes les fibres de la deuxième catégories ont des longueurs allant de deux à plusieurs dizaines de millimètres. Elles se rapprochent donc plus des fibres de résineux qui donnent de bonnes propriétés mécaniques au papier. Ce sont des fibres de renfort.

Enfin, certaines fibres ont des caractéristiques spéciales comme le kenaf dont la résistance à la rupture est de plus de 1500MPa. Intérêt pour la papeterie ? Ajoutées en faibles quantités, elles peuvent apporter de bonnes propriétés physiques au papier.

II-3 - Limitation du domaine d'étude

Trois plantes annuelles sont étudiées dans ce mémoire – la paille de blé, le chanvre et le kenaf – car leurs fibres présentent des caractéristiques différentes :

- **Paille de blé** : fibres de masse
- **Chanvre** : fibres de renfort
- **Kenaf** : deux types de fibres aux propriétés spécifiques

La comparaison de ces fibres donne une idée des utilisations papetières de ces plantes annuelles.

Par ailleurs, une telle étude doit être générale du point de vue géographique. En effet, les groupes papetiers s'installent partout dans le monde dès lors que la situation économique y est attrayante. Or, les productions industrielles de chanvre et de pailles de céréales couvrent les cinq continents.

	Afrique	Amérique	Asie	Europe	Océanie
Chanvre	-	oui	oui	oui	-
Kenaf	oui	oui	oui	-	-
Paille de céréales	oui	oui	oui	oui	oui

Tableau 7 - Répartition géographique des fibres étudiées

Enfin, cette étude étant réalisée en un temps limité, cibler des plantes répandues dans le monde et avec une histoire importante, permet

d'accéder à de nombreuses données.

III - Situation actuelle

Les premières traces de culture du chanvre sont situées en Chine et datées de 800 avant J.C. Son usage est alors uniquement textile, les fibres de la plante servant au tissage des vêtements. C'est en Chine toujours, que 700 ans plus tard, les fibres de chanvre commencent à être employées dans la fabrication du papier. Par la suite, le mûrier est aussi utilisé.

Il faut attendre le XIV^e siècle pour que les techniques de fabrication du papier arrivent en France. Les fibres végétales sont toujours employées. Puis, en 1850, les possibilités d'usage du bois en papeterie sont découvertes. À partir de là, le recours aux fibres végétales est restreint à des usages soit spéciaux soit locaux (par exemple, dans les pays en voie de développement et/ou ayant difficilement accès aux ressources forestières).

En 1883, 70% du papier est toujours réalisé à base de fibres de chanvre. Aux États-Unis c'est la paille de blé qui tient une place de choix dans le secteur papetier. Lors de la Seconde Guerre Mondiale, l'industrie du papier à base de fibres végétales est encore importante : 25 papeteries produisent du papier à base de paille de blé en 1945. Toutefois, en 1960, la dernière de ces papeteries ferme pour les raisons suivantes :

- l'amélioration du procédé Kraft permettant de mieux récupérer les produits chimiques utilisés.
- L'augmentation du coût de la main d'œuvre dans une industrie agricole qui en exige beaucoup (récolte, stockage puis fabrication de la pâte).
- La technologie est moins avancée et moins économique que celle des procédés à base de bois.
- L'augmentation des coûts des carburants et des transports conduisant à la volonté d'utiliser les déchets agricoles comme source d'énergie.

III-1 - Acquisition des plantes annuelles

Y a-t-il des limitations à l'acquisition des fibres végétales pour un usage papetier ? Cela va de la croissance de la plante à la mise en pâte en passant par la récolte, le transport et le stockage.

III-1-1 - Sur le plan technique

Résidus agricoles - Paille de céréales

Culture

Voyons le cas du blé. Les experts papetiers pensent que les résidus agricoles sont plus compétitifs que les plantes annuelles : pas besoin de cultiver de nouvelles terres ; de plus, les pratiques de culture sont déjà connues. Dans les faits, exploiter des résidus agricoles n'impose aucune contrainte de culture, il suffit de profiter d'un rejet.

Récolte

Le blé est exploité en coupant sa tige et en récoltant ses graines. La tige est alors jetée au sol. Lorsque la récolte des graines est l'unique but de la culture, la tige est coupée en hauteur en dessus du sol. Il est donc possible d'effectuer un deuxième moissonnage, plus bas sur les tiges, qui permet d'augmenter le rendement du moissonnage du blé.

Coût des transports

Le coût important du moissonnage (main d'œuvre, machines,...) et du transport d'une paille de très faible densité a été l'une des raisons de l'abandon de la paille de blé comme matière première en papeterie. Toutefois, selon des experts, les technologies modernes – collectage, mise en ballots, récupération et manipulation des ballots de paille – en cours dans les pays occidentaux, résolvent le problème. Désormais, des ballots larges et denses pouvant peser de 500 à 600kg, sont produits.

Stockage

Traditionnellement, le stockage de la paille était fait dans des fermes. Cependant, avec une mise en ballots denses, l'eau ne peut plus s'infiltrer, la paille est protégée par elle-même et peut, de ce fait, être stockée en plein champ, sous forme de grandes piles. Selon la localisation, la paille peut être protégée avec une couverture en plastique. C'est un moyen économique de stocker la paille qui s'apprête à être utilisée en papeterie. À défaut, des agents de conservation – borax, acide borique ou encore phénols chlorés – peuvent être utilisés pour protéger la paille dans les stockages.

Préparation à la mise en pâte

Avant la mise en pâte, la paille doit être réduite en longueur et nettoyée, par voie sèche ou par voie humide, pour retirer la poussière, les graines, le sable et les pièces de métal. Comme l'ont montré les travaux de Jean-Claude Roux (Grenoble INP-Pagora), combiner le nettoyage sec et le nettoyage humide juste avant le triturateur permet non seulement de nettoyer la paille mais aussi d'en faciliter sa trituration.

Culture - Kenaf

Culture

Les conditions climatiques et l'état des sols déterminent les zones les plus intéressantes pour la culture du kenaf. D'une part, le kenaf pousse mieux dans les zones chaudes avec des précipitations prévisibles et/ou un accès à l'irrigation. D'autre part, dans d'autres régions, des paysans profitent des gelées pour stopper naturellement la croissance du kenaf ; cela a tout de même un désavantage puisqu'ils doivent alors exploiter le kenaf pendant les mois d'hiver, l'un des moments les plus difficiles pour les agriculteurs.

Récolte

Le kenaf peut être récolté avec les équipements agricoles actuels comme les matériels des exploitants de canne à sucre par exemple. Cependant, si la production de kenaf passe à un niveau industriel, le temps de fauchage sera un véritable problème pour répondre aux demandes de forts volumes. Une solution possible : développer une variété de kenaf à la durée de vie déterminée de telle sorte qu'il meure avant les premières gelées. Le kenaf est généralement considéré comme résistant aux insectes mais la plante peut être affectée par des vers, les nématodes. Ce n'est plus un problème de nos jours grâce aux insecticides ou encore, dans certaines régions, grâce à une rotation des cultures régulière afin que les vers ne puissent s'adapter au milieu.

Transport

Le transport devient plus économique si le kenaf est compacté en ballots de forte densité.

Stockage

Le kenaf peut être stocké en plein champ mais les fibres doivent être gardées le plus possible au sec. Pour cela, il peut être placé sur des blocs et recouverts par des bâches en plastique afin de les protéger de la pluie. Selon le Mississippi Delta Fiber Cooperative, il peut ainsi être stocké plus de 3 ans. Cependant, l'American Forest & Paper Association ne considère pas cette méthode comme envisageable au niveau industriel à cause des problèmes de place.

Préparation à la mise en pâte

Les fibres du cœur et d'écorce doivent-elles être ou non mises en pâte séparément ? Les experts ne s'accordent pas sur ce point :

- Pour certains experts, séparer les deux types de fibres permet de mieux utiliser le kenaf car les papeteries peuvent adapter leur procédé de mise en pâte aux propriétés de chaque type de fibres. Aussi, des équipements ont été développés et sont utilisés pour la séparation à une échelle industrielle des fibres de kenaf.
- Pour d'autres, utiliser le kenaf dans sa totalité permet d'obtenir de meilleurs rendements.

En définitive, cette préparation dépend de l'utilisation faite des fibres de kenaf. Avantages et inconvénients de ces deux solutions seront développés plus loin.

Culture - Chanvre

Culture

Le principal frein actuel à l'utilisation du chanvre est sa réglementation en raison de ses propriétés psychotropes. Ainsi, aux États-Unis, il est interdit d'exploiter cette plante. Néanmoins, des recherches sont menées en Hollande et dans d'autres pays européens. Selon ces études, les résultats de son exploitation sont similaires à celle du kenaf. Toutefois, à la différence de ce dernier, le chanvre peut pousser dans de plus vastes régions du monde.

Récolte

Le temps de récolte est critique pour la qualité des fibres et le rendement du chanvre. Les tiges sont retirées en quelques jours puis séchées et stockées pour une mise en pâte future. Récoltée trop rapidement, la plante est immature et son rendement faible. Si la récolte est retardée, les fibres deviennent trop épaisses pour être utilisées dans les secteurs papetier et textile.

Transport

Le compactage de la production permet un transport plus économique.

Stockage

Comme le kenaf, le chanvre est séché et doit être stocké au sec. Les mêmes techniques de stockage peuvent être employées.

Préparation de la pâte

Le chanvre est constitué de fibres d'écorce et de fibres du cœur. Il y a moins de fibres d'écorce que dans le kenaf mais elles sont de meilleure qualité que les fibres de cœur. Le problème est donc le même pour ces deux plantes de culture.

Au vu de tous ces éléments, il n'apparaît pas d'obstacle technique majeur pour obtenir de la pâte à papier à partir de végétaux autres que le bois. Des équipements et des méthodes existent pour cultiver, récolter, transporter, stocker et préparer les fibres issues du kenaf, du chanvre et des pailles de céréales. Par ailleurs, diverses techniques développées pour les fibres non issues du bois (la bagasse, par exemple) peuvent être utilisées également.

III-1-2 - Sur le plan environnemental

Recourir aux végétaux non bois pour la papeterie permettrait de réduire l'exploitation des forêts naturelles ou la conversion de ces dernières en plantations. En effet, il se peut que l'exploitation du bois soit polluante. Comparons les impacts environnementaux de l'exploitation à usage papetier des arbres et des plantes précédemment citées.

Résidus agricoles – Paille de céréales

Employer des résidus agricoles en papeterie permettrait une bonne revalorisation des déchets qui posent des problèmes de gestion aux agriculteurs. L'usage de produits chimiques dans le procédé d'acquisition des fibres est faible puisque l'utilisation papetière n'est pas un but en soi. Par ailleurs, récolter la paille pour la mise en pâte élimine la combustion des pailles par les agriculteurs et, par conséquent, la pollution générée. La plus grande partie de la biomasse organique est proche du sol et n'est pas exploitée. Cependant, à long terme, récolter la paille peut tout de même conduire à une perte de nutriments dans le sol. Aussi, les agriculteurs ne doivent pas trop exploiter cette filière et utiliser des engrais avec parcimonie pour compenser ce manque de nutriments.

Culture – Kenaf, Chanvre

Exploiter ces plantes annuelles comme sources de fibres papetières a des conséquences sur l'environnement plus importantes que les résidus agricoles. Pour évaluer l'impact environnemental de la culture de ces plantes, il convient de le comparer à celui qu'aurait une culture du bois. Considérons les zones où le bois et ces plantes annuelles peuvent pousser : en effet, ailleurs, nous ne sommes plus dans la même logique de remplacement.

Les partisans des plantes annuelles papetières voient deux avantages à l'utilisation des fibres de chanvre et kenaf plutôt que des fibres issues du bois :

- La culture des plantes annuelles pour la papeterie produit généralement de plus gros rendements en fibres et en pâtes que le bois. Les besoins en terres et en ressources s'en trouvent réduits.
- Ces plantes nécessitent moins d'apports en engrais ou pesticides.

La validité de ces idées dépend beaucoup de différentes variables dont le type de fibres et le type de papier produit. Il est donc important de comparer non seulement le rendement en fibres mais aussi le rendement en pâte du bois et des plantes annuelles. Les pâtes comparées doivent être équivalentes, c'est-à-dire être utilisables pour les mêmes applications papetières.

Quantités nécessaires

Avoir un fort rendement permet de réduire la quantité de terres nécessaires pour répondre à la demande. Pour les partisans du kenaf et du chanvre, les plantes annuelles permettent des rendements plus importants que ceux du bois, y compris des pins maritimes. Or, les rendements sont difficiles à connaître et varient énormément selon les études : conditions climatiques, état du sol, zone géographique, usage de pesticides, recours à l'irrigation,... Il existe même des études d'études afin d'établir un taux moyen de rendement. Ce n'est pas notre objectif ici : nous utilisons donc directement les résultats extraits de ce genre d'études [Tableau 8]

		Rendement en fibres tonnes/ha	Rendement en pâte tonnes/ha
Kenaf	Pâte mécanique	6,4	5,5
	Pâte de renfort	2,02	1,15
Chanvre	Pâte mécanique	4,5	?
	Pâte de renfort	1,19	0,77
Pin maritime	Pâte mécanique	3,75	3,49
	Pâte de renfort	3,75	1,65

Tableau 8 - Rendements en fibres et en pâte des plantes annuelles par type de pâte

Ce qui intéresse les papetiers, c'est le rendement en pâte et non le rendement en fibres. Pour un usage de renfort, le rendement des pâtes de kenaf et de chanvre est plus faible que celui du pin maritime (respectivement 68% et 47% de la production en tonnes par hectare du pin maritime). Pour un usage en pâte mécanique, le rendement en pâte du kenaf est de 60% supérieur à celui du pin maritime. Il est possible de raisonner de la même façon avec le papier impression-écriture, en mesurant la taille des champs nécessaires à la production d'une tonne de papier.

Il faut faire varier la composition des papiers :

	Composition	Type de papier	Surface ha/tonne de papier
Kenaf	100% fibres d'écorce	Papier impression-écriture	0,59
	65% fibres d'écorce 35% fibres de cœur	Papier impression-écriture	0,4
Bois	25% fibres de résineux 75% fibres de feuillus	Papier impression-écriture	0,36

Tableau 9 - Comparaison de la surface d'exploitation nécessaire pour la production d'une tonne de papier

Pour un papier impression-écriture, l'emploi du kenaf peut être justifié en ce qui concerne les surfaces mises en jeu, comparables à celles du bois. Cependant, utiliser 100% de fibres d'écorce n'est pas évident puisqu'il faut alors presque deux fois plus de surfaces cultivées pour la même production de papier.

Apports agricoles

Outre les surfaces mobilisées pour l'exploitation des plantes, il faut considérer les apports nécessaires à l'agriculture. Par exemple,

l'utilisation d'engrais, de pesticides, de l'irrigation, etc. jouent sur l'impact environnemental des plantes annuelles employées en papeterie.

Les partisans du recours aux plantes annuelles soulignent leur résistance aux insectes et leur besoin de peu d'engrais. Comme pour les rendements, la comparaison doit être faite avec les plantations de bois.

Kenaf

- Hormis le problème du vers nématode, le kenaf est très résistant aux attaques d'insectes. L'emploi de pesticides n'est alors justifié que très localement et il s'agit principalement de nématicides. Par ailleurs, le kenaf peut être inclus dans des cultures par rotation. Dans ce cas, le kenaf réduit le besoin en pesticides des autres plantes et améliore le sol.
- L'irrigation semble améliorer le rendement mais elle n'est pas toujours utilisée.
- Enfin, les engrais sont peu nécessaires.

Chanvre

- Le chanvre n'est exposé qu'à peu d'agressions extérieures (insectes, nématodes, champignons) : aussi, ne requiert-il que peu de pesticides. Seules les graines sont parfois traitées contre les oiseaux. L'intégration du chanvre dans des cultures par rotation permet de réduire le besoin de pesticides des autres plantations car la plante absorbe certains éléments pathogènes du sol. Le chanvre a par ailleurs de bons effets sur la structure du sol.
- La présence importante d'eau (irrigation) améliore le rendement.
- L'application des engrais est la même que pour le kenaf.

Plantations d'arbres

- Dans les plantations de faible production, aucun engrais ou pesticide n'est utilisé pour les arbres. Pour les fortes productions, l'usage d'herbicides avant la plantation et d'engrais lors de la plantation et de la mi-rotation sont typiques. Toutefois, cet usage est différent selon les régions et faible dans tous les cas.

Autres

- Il faut noter que les plantes annuelles sont récoltées tous les ans, alors que les arbres le sont tous les 20-45 ans. La récolte moins fréquente permet de réduire les pertes et les dégâts du sol, réduire la production de CO₂.
- Par ailleurs, les plantations d'arbres offrent un degré considérable de protection de la qualité de l'eau, des plantes et des habitats des animaux (biodiversité locale).
- Enfin, les arbres jouissent d'une meilleure image et suscitent des utilisations récréatives, ce qui n'est pas le cas des plantes annuelles.

En résumé

Résidus agricoles

- Utiliser les résidus agricoles comme sources de fibres pour la papeterie constitue une bonne revalorisation des déchets évitant de ce fait la pollution par combustion de ces résidus.

Plantes annuelles cultivées

- Dans les régions où les plantations d'arbres soit n'existent pas soit ne sont pas économiquement viables, faire pousser des plantes annuelles pour la papeterie permet de disposer de ressources en fibres.
- Dans les régions où les propriétaires terriens peuvent planter des arbres ou des plantes annuelles, les arbres offrent généralement un rendement du même ordre de grandeur que le kenaf ou le chanvre.
 - Rendement des pâtes mécaniques à base de kenaf entier : environ 60% supérieur à celui des pâtes à base de pin maritime.
 - Rendement des pâtes chimiques à base de chanvre ou de kenaf : respectivement 70% et 50% de celui du pin maritime.
 - Demande en surfaces cultivée pour produire du papier impression-écriture : généralement plus importante pour le kenaf que pour le bois.
- En moyenne, les pesticides et engrais utilisés sont plus faibles dans le cas du bois que dans le cas du chanvre et kenaf.
- Il y a une moins bonne préservation de la qualité de l'eau, de l'habitat des animaux, des plantes et de la biodiversité locale en général. Il n'y a par ailleurs pas de valeur récréative comme dans le cas des arbres.

L'exploitation des plantes annuelles dépend donc de la situation locale. En revanche, l'utilisation des résidus agricoles représente dans tous les cas un enjeu important.

III-1-3 - Sur le plan économique

Étudions les coûts relatifs à la production d'une tonne de fibres depuis le lieu de plantation jusqu'au lieu de transformation. Pour pouvoir être utilisées en papeterie, les fibres de plantes annuelles doivent avoir un prix compétitif avec les fibres de bois à savoir un coût de revient inférieur ou égal aux fibres de bois (résineux ou feuillus) équivalentes. Si elles sont plus chères, elles doivent apporter au papier des propriétés justifiant leur usage. Le tableau suivant présente les prix fin 1995 pour différents types de fibres.

Source de fibres	Coût US\$/tonne sèche
Résineux	100
Feuillus	45
Kenaf - entier	50-60
Kenaf - écorce	150-400
Chanvre - entier	200
Chanvre - écorce	630-1500
Paille de riz	40
Paille de blé	30

Tableau 10 - Coûts des fibres issues du bois et des plantes annuelles en 1995

Résidus agricoles – Paille de céréales

Le papier s'est développé comme support de communication et d'information grâce à des procédés de mise en pâte permettant d'utiliser une matière première peu onéreuse, d'où l'utilisation de résidus et de déchets. Traditionnellement, les papetiers utilisaient des chiffons de coton et de lin. La paille de blé et la bagasse, résidus de l'exploitation du blé et de la canne à sucre, sont les fibres végétales non issues du bois les plus utilisées dans le monde. Les employer paraît donc être un moyen d'obtenir des prix faibles et stables de la matière première d'une usine de pâte à papier.

Par ailleurs, la législation pousse de plus en plus à recourir à ces résidus agricoles, au point que l'industrie papetière se trouve même parfois en concurrence avec d'autres secteurs comme le bâtiment qui valorise la paille pour l'ossature des maisons dite écologiques, ou encore le secteur automobile.

La faible densité des fibres de paille rend les coûts du transport élevés, en comparaison avec ceux du bois. Cependant, selon des experts, combiner les nouvelles technologies d'exploitation des pailles aux nouveaux équipements de mise en pâte permettrait à la paille d'être compétitive face au bois.

Culture - Kenaf et chanvre

Le tableau précédent montre que le coût des fibres issues de la plante entière de kenaf est plus faible que celui des fibres de résineux. Le kenaf est donc compétitif pour la production de pâtes mécaniques qui peuvent utiliser les tiges entières.

A contrario, la tige de chanvre est plus onéreuse que le bois ou la tige de kenaf. Le coût des fibres de kenaf et de chanvre peut cependant

fortement augmenter si les fibres de cœur (fibres de masse) sont séparées des fibres d'écorce (fibres de renfort). Ainsi, pour obtenir des fibres d'écorce de 80% de pureté, le prix à la tonne augmente d'environ 40\$ par rapport à celui de latige de kenaf. Il double pour une pureté de 96%.

Ces prix sont donnés pour les technologies actuelles de séparation. De nouveaux procédés à l'étude pourraient permettre de réduire le coût de la tonne de fibres d'écorce, actuellement de 150 à 400\$, à 60\$. Les prix donnés peuvent fluctuer d'une région à l'autre et dans le temps, la production de chanvre et de kenaf étant encore peu répandue. Il faut noter que la tonne de chanvre coûte encore plus cher : de 630\$ à 1500\$.

Du fait de ces prix élevés, les fibres de ces plantes sont peu utilisées aujourd'hui ; les fibres de résineux traitées chimiquement leur sont préférées. Toutefois, des marchés de niche comme le papier cigarette recourent aux fibres de chanvre pour les caractéristiques mécaniques qu'elles confèrent au papier et pour le goût qu'elles donnent à la cigarette. Ces pâtes sont aussi utilisées dans la pétrochimie en remplacement des fibres synthétiques, plus chères.

Retrouvez les divers usages de ces plantes en annexe.

En résumé,

- Pour une usine de pâte à papier, le coût des résidus agricoles – blé, riz ou seigle – est compétitif par rapport au bois.
- Le coût des tiges entières de kenaf est compétitif avec le pin maritime ; le coût des tiges entières de chanvre est bien plus élevé.
- Le coût additionnel nécessaire pour séparer l'écorce du cœur du kenaf et du chanvre rend ces fibres non-compétitives avec le bois pour la papeterie. Les producteurs de kenaf vendent leurs fibres pour d'autres utilisations.

III-2 - Mise en pâte

III-2-1 - Sur le plan technique

En principe, les procédés de mise en pâte (chimique et mécanique) utilisés pour le bois peuvent être appliqués aux plantes. Or, la majeure partie des usines de pâte à papier utilisant des plantes annuelles mettent en œuvre des procédés chimiques (kraft, soude, sulfite).

Pâte chimique

- **Procédé kraft** : utilisant la soude et le sulfate de sodium, il est généralement utilisé pour les pâtes de spécialité, dont celles issues des fibres d'écorce de plantes annuelles ; il permet d'obtenir des pâtes de haute résistance.
- **Procédé à la soude** : il recourt à la soude et au carbonate de sodium. Certaines usines à la soude utilisent l'antraquinone (AQ). L'absence de composés sulfurés simplifie le circuit de récupération et permet d'éviter les problèmes d'odeurs. Il est utilisé pour les papiers tissés à base de plantes annuelles (pailles par exemple).
- **Procédé au sulfite** : basé sur l'hydroxyde de sodium, l'hydroxyde de calcium, l'hydroxyde de magnésium et l'hydroxyde d'ammonium. Il est utilisé pour certaines plantes annuelles.
- **Procédé ALCELL** : basé sur l'éthanol et développé par Repap Technologies, il a été testé pour les feuillus et semble utilisable pour les plantes annuelles. Les fibres sont cuites à l'éthanol selon des conditions acides afin d'extraire la lignine qui peut être vendue comme un sous-produit. La pâte produite par ce procédé répond bien à la déliquification à l'oxygène et est en général plus simple à blanchir que les pâtes kraft.

Pâte mécanique

Les plantes annuelles sont bien adaptées aux procédés mécaniques et chimico-mécaniques (CMP). Elles nécessitent moins d'énergie que les fibres de bois. Par ailleurs, les tiges entières peuvent être employées. Cependant, les pâtes mécaniques sont relativement peu utilisées en papeterie.

Problèmes liés à la mise en pâte

- Pour les résidus agricoles (paille de riz ou de blé), la forte concentration en silice et en potassium pose des problèmes techniques de récupération des liqueurs dans les opérations de mise en pâte chimique.
- Il faut redessiner les équipements des lignes de mise en pâte afin d'utiliser différents types de fibres.
 - Il faut pouvoir stocker et manipuler des ballots de fibres de plantes annuelles plutôt que des troncs d'arbres et copeaux de bois.
 - Les triturateurs en continu semblent plus appropriés pour les plantes annuelles que les triturateurs batch utilisés pour les copeaux de bois de pâte chimique : ils réduisent par ailleurs le temps de cuisson et améliorent la productivité. Cependant, pour de très longues fibres, les triturateurs batch doivent être utilisés.
 - Il faut rallonger la table de formation pour les pâtes de plantes annuelles à courtes fibres à l'égouttabilité faible (paille de blé par exemple).

Explorons plus en détail la mise en pâte de la paille de blé, du chanvre et du kenaf et les problèmes qu'elle peut poser.

Paille de blé

La mise en pâte des pailles de blé est compliquée. Il faut contrôler la viscosité, le taux de silice et de potassium dans la liqueur noire envoyée dans le circuit de récupération. En effet :

- la silice peut précipiter et se déposer dans les tuyaux et évaporateurs de la chaudière de récupération.
- Un taux élevé de potassium dans la liqueur noire peut affecter les propriétés de la lave à la base de la chaudière de récupération et, par conséquent, et boucher les tuyaux.
- Un taux élevé d'hémicelluloses des pailles augmente la viscosité de la liqueur noire et rend difficile la pyrolyse de la partie solide. Actuellement, il n'y a pas de solution à ces problèmes du circuit de récupération.
- Des entreprises travaillent sur des procédés permettant d'extraire 70 à 80% de silice. La **Compagnie Industrielle de la Matière Végétale (CIMV)** propose une autre solution : elle ne cherche pas à extraire la silice uniquement ; elle extrait la cellulose, la lignine, la silice et les hémicelluloses. Un papetier y trouve donc son compte.
- Il est possible de passer outre le problème de la silice en combinant une ligne de mise en pâte de paille de blé avec une ligne de mise en pâte de bois, voire d'autres plantes. La silice de la liqueur noire est ainsi dissoute. Toutefois, cela ne suffit pas pour réduire les niveaux de potassium nécessaires pour faire re-circuler les eaux de process.
- L'"Agri-pulping" pourrait régler durablement le problème de la silice : au lieu d'être récupérée pour régénérer les produits chimiques, la liqueur noire est évaporée et mélangée avec de l'azote et du potassium afin de servir d'engrais.

La paille de blé est plus intéressante lorsqu'elle est combinée à d'autres fibres. En effet, ses fibres courtes affaiblissent le papier. Aussi, la combinaison avec de longues fibres supprime ce défaut. La paille de blé permet d'augmenter la main du carton ondulé. En outre, elle améliore certaines caractéristiques comme la formation et l'opacité. Incorporer des fibres de paille de blé à une pâte vierge ou de fibres recyclées destinée aux cartons a donc un grand potentiel de développement.

Kenaf

Le kenaf peut être utilisé pour la pâte chimique (kraft, sulfite alcaline, soude et soude-AQ), semi-mécanique ou encore pour la pâte mécanique modifiée TMP (*thermomechanical pulp*) et CTMP (*chemithermomechanical pulp*). La sélection du procédé de mise en pâte dépend entre autres du type de papier souhaité et des parties de la plante utilisés (tige entière, cœur ou écorce).

Le kenaf n'est pas adapté à la pâte mécanique car il donne alors une pâte plus faible que son équivalent bois. Aussi, d'autres procédés sont-ils employés :

- La cuisson Kraft des tiges entières de kenaf donne une résistance comprise entre celle des résineux et celle des feuillus. Aussi, ne sont cuites ainsi que les fibres d'écorce qui confèrent de bonnes qualités à des pâtes de spécialité pour des marchés de niche. Il est aussi possible de séparer les fibres, de les mettre en pâte avec des procédés différents pour ensuite mélanger les pâtes ; il en résulte des pâtes de meilleure qualité.
- Un procédé intermédiaire dit CTMP est proposé pour les tiges entières de kenaf. Pour un papier magazine, la pâte CTMP peut servir comme matière première principale (90 à 100%) avec un complément de longues fibres comme l'écorce de kenaf. Cette pâte de kenaf CTMP peut aussi s'ajouter aux fibres recyclées dans une usine déjà existante.
- Pour les papetiers contre la séparation des fibres, les usines devraient mettre en pâte les tiges entières avec un procédé soude-AQ.

Chanvre

Le chanvre est moins intéressant d'un point de vue papetier que le kenaf :

- La qualité des fibres de cœur du chanvre est inférieure à celle des fibres de cœur du kenaf.

- La quantité de fibres d'écorces disponibles sur le chanvre est inférieure à celle du kenaf, au maximum 30%.
- Les fibres d'écorce du chanvre sont plus difficiles à délignifier en utilisant un procédé au sulfite et potassium.

Pour certains papetiers les fibres de cœur ne sont donc pas adaptées à un usage papetier et doivent être réservées à d'autres applications, comme les matériaux composites. Pour d'autres, les fibres de cœur peuvent servir à d'autres utilisations papetières, par exemple comme charge remplaçant le carbonate de calcium.

L'approche optimale des fibres d'écorce est d'en faire une pâte mécanique à haut rendement, aux propriétés similaires à celle issue des résineux BCTMP (*bleached chemithermomechanical pulp*) utilisée pour du papier tissue.

Autre option raisonnable : mettre en pâte mécaniquement les tiges entière de chanvre et les vendre comme additif pour la production de carton, en ajout aux fibres recyclées. Les propriétés qui en résultent sont similaires à celles des papiers impression-écriture recyclés ou des pâtes Kraft blanches.

Recyclabilité

Les pâtes issues des plantes annuelles sont-elles recyclables ? Oui : le recyclage est le même que pour les fibres issues du bois et pose les mêmes problèmes. Les fibres recyclées sont plus courtes que les fibres de pâte vierge et leur longueur diminue à chaque nouveau cycle d'utilisation. Les problèmes rencontrés avec les fibres courtes (égouttabilité de la pâte de paille, par exemple) existent toujours avec des pâtes recyclées. Les fibres longues alors sont utilisées avec d'autres papiers recyclés pour compenser la perte en résistance due au recyclage.

III-2-2 - Sur le plan économique

Investir dans une nouvelle ligne de mise en pâte ou de production de papier pose toujours des problèmes économiques : offre/demande, coût, disponibilité des capitaux,... L'utilisation des fibres végétales exacerbe ces problèmes. À titre d'exemple, en Californie, un projet de création d'une papeterie utilisant de la paille de riz pour produire des papiers recyclés a échoué : alors que les clients avaient été identifiés, les acteurs du projet n'ont pas trouvé de machine à papier pour fabriquer le papier, ni même un financement.

Ces technologies en sont à leurs débuts, dans une situation difficile mais temporaire. En effet, ces projets sont difficiles à lancer : même avec une alimentation en matières premières et des coûts de mise en pâte identiques, en utilisant des fibres de plantes annuelles, les risques sont plus importants :

- Alimentation en matières premières incertaine.
- Nouvelles technologies requises (matériel, formation du personnel,...).
- Risques d'incendies dans les stocks.

Par ailleurs, notons l'importance des économies d'échelles, c'est-à-dire les baisses du coût du produit fini grâce à la quantité produite. Elles sont particulièrement présentes en papeterie et dans les procédés de mise en pâte. Les grandes machines à papier modernes produisent un papier de meilleure qualité de façon continue à moindre coût que les petites machines anciennes. Un papier issu de plantes annuelles peut donc ne pas sembler compétitif tant qu'il n'a pas été produit sur des géants mécaniques.

Pour les plantes possédant différentes fibres, le coût dépend aussi de la destination des fibres. Par exemple, le kenaf a des fibres de cœur et des fibres d'écorce. D'un point de vue technologique, il est intéressant de les séparer. D'un point de vue papetier, la séparation des fibres souvent n'est pas indispensable car dans les faits, du papier magazine de haute qualité par exemple peut être produit à partir des tiges entières de kenaf. D'un point de vue économique, il faut s'interroger sur la nécessité de séparer les fibres. De la séparation résultent de petites quantités de fibres d'écorce de haute qualité et de grandes quantités de fibres de cœur de faible qualité. Les fibres d'écorce trouvent leur application dans les papiers spéciaux à forte valeur ajoutée et fort profit : les marchés de niche sont concernés. Les prix des pâtes de spécialité varient de 2000\$ à 4000\$ la tonne alors qu'une pâte de résineux vaut généralement moins de 1000\$ par tonne. Il est donc important de prendre en considération l'usage des fibres. Cette situation est encore plus prononcée avec le chanvre car il a peu de fibres d'écorce et ses fibres de cœur sont considérées comme étant de qualité inférieure à celles du kenaf.

C'est pourquoi, dans cette partie, notre étude se focalise sur le kenaf et la paille de céréales.

Résidus agricoles - Paille de céréales

La technologie du pulpeur à haut rendement horizontal en continu réduit le temps de cuisson : 10 à 12 minutes au lieu de 2 à 4 heures avec un pulpeur en batch. Différents rendements de pâte peuvent être atteints en fonction des propriétés souhaitées. Outre cet investissement technique, le système d'alimentation en matières premières doit être revu, notamment au niveau du stockage : taille, type de matières premières, risque d'incendies.

Le problème de ce type d'usine de pâte vient de l'alimentation en matières premières : la faible densité de la paille de céréales entraîne un transport inefficace et des problèmes de stockage. La capacité maximale est d'environ 110 000 tonne/an pour des résidus agricoles autres que la bagasse en considérant un transport rentable. Ce problème économique est en partie résolu par les nouvelles techniques agricoles comme les ballots denses.

Culture - Kenaf

Pâte chimique

- **Construction de l'usine** : une usine, produisant une tonne de pâte chimique par jour, coûte 750 000\$ quand elle traite du kenaf blanchi à la soude contre 600 000\$ quand elle est basée sur les fibres de bois blanchies, cuisson kraft. Ces chiffres sont calculés sur la base d'une production de 300 tonnes par jour. La différence du coût des installations est donc de 25%, mais reste comparable. Selon une estimation plus réaliste, le coût devrait être de 625 000\$ par tonne journalière pour que les plantes annuelles soient compétitives face aux usines de pâte Kraft basées sur le bois.
- **Exploitation du kenaf entier** : les coûts d'exploitation permettant de produire une tonne de pâte de kenaf blanchi, provenant de l'écorce et du cœur, sont supérieurs à ceux nécessaires pour produire une tonne de pâte de résineux ou feuillus [Tableau 11].

	Feuillus	Résineux	Kenaf fibres d'écorce	Kenaf fibres de cœur
Coût des fibres US\$	118	149	161	162
Coût de l'énergie et des produits chimiques US\$	130	139	181	193
Coût de l'emploi US\$	37	40	90	90
Total	289	328	387	446

Tableau 11 - Coûts en US\$ de la mise en pâte du kenaf et du bois

L'écorce de kenaf est compétitive face aux résineux, avec un prix supérieur de 12% seulement. Toutefois, une meilleure résistance à la traction et à la déchirure permet aux papetiers d'effacer ces coûts additionnels.

- **Exploitation des fibres de cœur** : les coûts d'exploitation pour produire une tonne de pâte issue de feuillus blanchis Kraft sont environ 34% inférieurs à ceux de la tonne de pâte de fibres de cœur de kenaf. Connaissant les propriétés de la pâte blanchie produite avec les fibres de cœur du kenaf, il est probable que le papetier aura plus de mal à dégager de la rentabilité avec cette pâte.

Pâte mécanique

Utiliser une pâte mécanique de plantes annuelles a un coût qu'il est important de chiffrer.

- **Construction de l'usine** : une usine, produisant une tonne de pâte mécanique par jour, coûte environ 275 000\$; Si elle utilise du kenaf entier, elle doit modifier son système d'alimentation en matières premières afin de manipuler les ballots de plantes annuelles plutôt que des copeaux de bois. En termes d'équipement, nul besoin d'autres modifications majeures. En revanche, pour une usine utilisant du chanvre, il faut des équipements de mise en pâte différents.
- **Exploitation** : les fibres et l'énergie représentent la plus grande partie du coût des pâtes mécaniques. Or, à l'exception des usines qui produisent

une pâte marchande BCTMP, les usines de pâte mécanique sont généralement intégrées aux usines de fabrication du papier. Cela évite le coût énergétique additionnel requis pour sécher la pâte pour le transport. En outre, il y a plus de contrôle sur les propriétés de la pâte utilisée.

III-2-3 - Situation actuelle

Une industrie en pleine croissance

Les plantes annuelles ont été à la base de l'activité papetière durant des siècles avant d'être supplantées par le bois au début du XX^e siècle. Depuis lors, la situation a bien changé. La figure ci-dessous montre l'évolution de l'utilisation des plantes annuelles et du bois au cours des trois dernières décennies [Figure 3]. Les plantes annuelles n'ont qu'une place restreinte (10% environ) ; néanmoins, leur usage s'accroît de façon continue. Cette évolution reste actuellement dans ces ordres de grandeur.

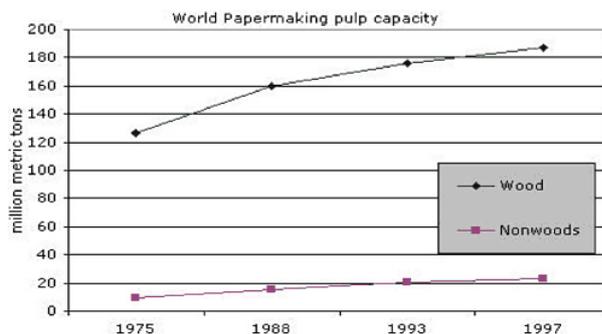


Figure 3 - Évolution mondiale de l'usage des plantes annuelles et du bois en papeterie
Source : Hurter R.W. Will nonwoods become an important fiber resource for North America ? World Wood Summit, Chicago (IL), 1998
Conservatree - What is the availability of tree-free pulping facilities, and future outlook?

D'un point de vue quantitatif, en 1991, 16,5 millions de m³ de fibres de plantes annuelles ont été utilisés dans le secteur papetier, soit 10% de l'alimentation totale en fibres vierges ou encore 6% de l'alimentation totale en fibres. Ces fibres permettent d'obtenir des papiers de spécialité, marché de niche en plein développement. Par ailleurs, ajouter des plantes annuelles dans une pâte à papier lui confère des qualités et propriétés nouvelles. Elles trouvent des applications diverses : papier cigarette, carton, papier filtre, papier sulfurisé, etc. (Cf. annexe) Au niveau mondial, de grandes quantités de fibres de plantes annuelles sont consommées en papeterie – une consommation en augmentation – pour des secteurs divers.

Une nécessaire adaptation à la biodiversité locale

Sur le plan géographique, cette consommation est hétérogène. Le tableau ci-dessous indique la production de fibres de plantes annuelles par pays en 1998 [Tableau 12].

Pays	Capacité de mise en pâte de plantes annuelles 1998		Matières premières	
	Capacité ktonnes	% de la capacité nationale	Capacité en plantes annuelles ktonnes/an	% de la capacité nationale
Chine	16830	84,3	17672	84,2
Inde	2001	61,3	2000	61,3
Pakistan	415	100	491	100
Mexique	324	29,3	230	24,1
Pérou	296	95,2	50	100
Indonésie	267	10,1	86	1,4
Colombie	218	37,2	217	46,8
Thaïlande	509	100	158	2,5
Brésil	238	3,3	139	1,9
Vénézuéla	187	75,4	255	68
USA	204	0,3	380	0,6
Grèce	160	84,2	155	83,8
Espagne	141	7,7	140	7,3
Argentine	140	12,8	140	12,8
Égypte	127	100	12	100
Italie	120	13,3	165	26
Cuba	108	100	108	100
Turquie	103	16,5	191	27,4
Vietnam			100	38
France			150	4
Afrique du Sud			115	7,1
Irak			101	100
Iran			90	25
Australie			255	18,1

Tableau 12 - Production des fibres issues de plantes annuelles par pays en 1998
Source : Pande H. Les fibres non ligneuses et l'offre mondiale de fibres. Unasylva, 1998, vol.49, n°193

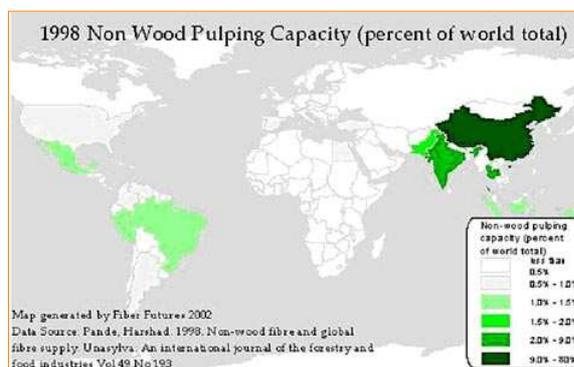


Figure 4 - Répartition mondiale de la capacité de production de pâte à partir de fibres non boisées 1998

Source : [Conservatree - What is the availability of tree-free pulping facilities, and future outlook?](#)

La Chine est le principal pays producteur de fibres de plantes annuelles [Figure 4]. Avec une consommation de papier d'à peine 20 kg par habitant et un accès limité aux ressources forestières, les fibres végétales sont une source importante de matières premières pour l'industrie papetière chinoise. Le pays s'est d'ailleurs doté de nombreuses usines de fabrication de pâte à partir de plantes annuelles. Bien implantée en Asie, l'industrie des plantes annuelles est moins présente sur le continent américain, mieux pourvu en matières premières issues de la forêt. C'est pourquoi des projets impliquant les plantes annuelles sont lancés en Asie (par exemple, par UPM et Chempolis).

Cette disparité mondiale des industries s'explique donc par l'accès inégal aux matières premières. L'intérêt des résidus agricoles, comme la paille de blé, a été mis en évidence précédemment. Or, la paille de blé étant produite de façon inégale dans le monde, les papeteries ont plus ou moins de facilité à s'installer. À titre d'exemple, comparons dans les figures ci-dessous les productions de ces matières premières grâce aux statistiques de l'[Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture \(FAO\)](#) : il y a de grandes disparités dans les productions de blé dans le monde [Figures 5 à 11].

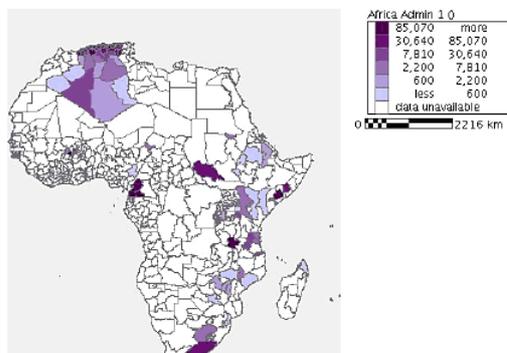


Figure 5 - Production de blé en Afrique en millions de tonnes
Source : FAO - Agro-MAPS

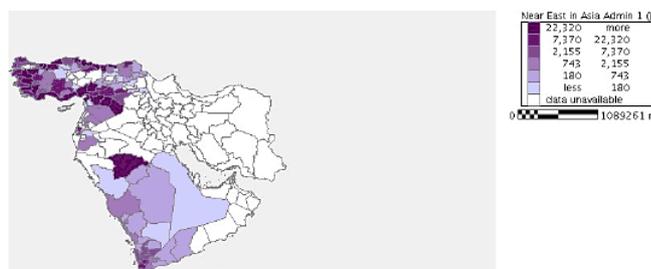


Figure 6 - Production de blé au Moyen Orient en millions de tonnes
Source : FAO - Agro-MAPS

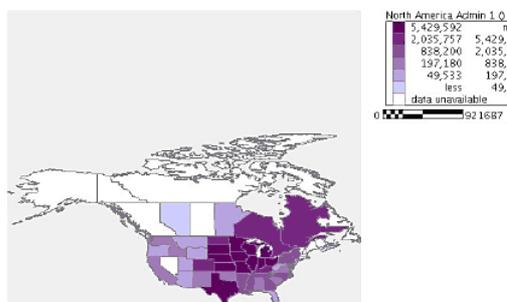


Figure 7 - Production de blé en Amérique du Nord en millions de tonnes
Source : FAO - Agro-MAPS



Figure 8 - Production de blé en Asie en millions de tonnes
Source : FAO - Agro-MAPS



Figure 9 - Production de blé en Europe en millions de tonnes
Source : FAO - Agro-MAPS

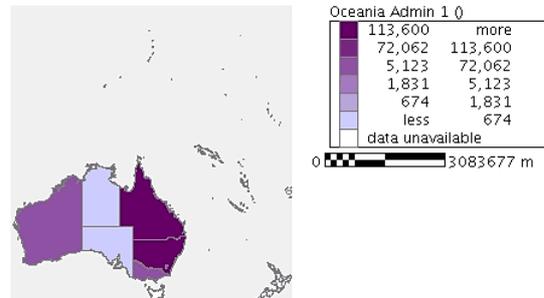


Figure 10 - Production de blé en Océanie en millions de tonnes
Source : FAO - Agro-MAPS

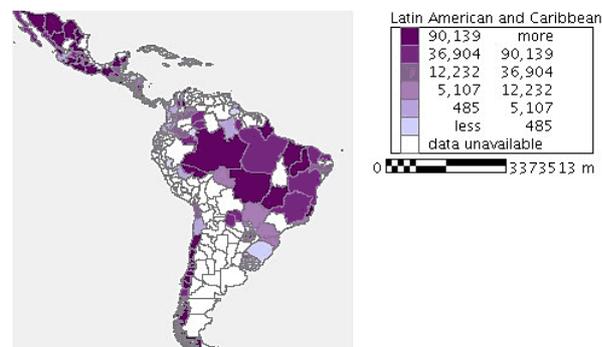


Figure 11 - Production de blé en Amérique du Sud en millions de tonnes
Source : FAO - Agro-MAPS

Le constat est clair : les plantes annuelles ne sont pas équitablement produites dans le monde. Il en ressort que la papeterie doit s'adapter à la biodiversité locale.

Des acteurs de faible envergure

En général, les usines produisant de la pâte à papier à base de fibres végétales sont de petite taille, avec une production allant de 10 à 100 ktonnes par an. Une production qui ne fait pas le poids face aux 300 à 500 ktonnes par an d'une usine Kraft moderne. De plus, l'exploitation des résidus agricoles met une forte contrainte sur ces usines en limitant, à cause du coût du transport, la production de pâte à une centaine de milliers de tonnes par an.

Ces petites usines, souvent vieilles, sont souvent installées dans des pays en voie de développement et présentent des inconvénients majeurs :

- Forte pollution : par exemple, elles n'utilisent pas de système de récupération des produits chimiques utilisés.
- Faible rentabilité : la survie de ces usines ne tient qu'à la marge importante générée par la production de papiers spéciaux ou à la matière bon marché.

Des projets de grande envergure ont été tentés, notamment dans des pays occidentaux avec peu de succès la plupart du temps. À titre d'exemples, trois projets américains et un projet anglais :

- **Kenaf Demonstration Project** : construire une usine de fabrication de papier journal dans le Lower Rio Grande Valley (Texas), basée sur de la pâte CTMP au kenaf (tige entière). Techniquement faisable, le projet n'a pu réunir les fonds nécessaires.
- **Mississippi Delta Project** : les agriculteurs du Mississippi Delta Fiber Cooperative (Charleston, MS) vendaient des fibres d'écorce de kenaf à KP Products, un fabricant de papier. Les fibres étaient mises en pâte à l'usine de P.H. Glatfelter (Ecusta, CN). À cause du coût des fibres d'écorce de kenaf – trois fois le prix des fibres de pin maritime – et de la petite taille de l'exploitation, le papier devait être vendu à un prix élevé.
- **Usine de pâte de kenaf**, Tallahatchie County (Charleston, MS) : production de 10 000 tonnes par an de pâte chimique de kenaf. En raison du faible profit de l'usine (4.6%), le projet a été stoppé.
- **Usine de pâte de paille de blé**, East Anglia, UK : créer une usine produisant 250 000 à 300.000 tonnes par an de pâte à base de paille de blé, avec un pulpage à la soude et un blanchiment en 4 étages ODED. Un projet non retenu car les transports étaient trop importants. Le profit calculé était seulement de 2%.

La concurrence du bois rend difficile l'émergence de grands projets industriels fondés sur les plantes annuelles. Il y a donc principalement de petites productions locales.

IV - Prospective

IV-1 - Dynamique concurrentielle (diagramme de Porter)

IV-1-1 - Fournisseurs

Ce sont le plus souvent des pays en voie de développement : la Chine, le Brésil ou encore l'Inde. Elles sont produites par des agriculteurs regroupés en coopératives, telles que **Perna Syntex** en Inde, vendent les fibres aux usines de pâte à papier. Ces coopératives jouent un rôle important puisqu'elles peuvent faire varier la qualité ou le prix des fibres pour obtenir un profit plus ou moins important.

IV-1-2 - La vente de papier

Les fibres de plantes annuelles sont vendues aux industries papetières (par exemple le **groupe Bolloré**, **Cascades** ou **Arjowiggins**) qui définissent les exigences liées aux plantes annuelles. Elles peuvent aussi être vendues aux bioraffineries ou encore à l'industrie textile.

Le papier quant à lui est vendu aux imprimeurs et aux transformateurs ou bien directement aux utilisateurs finaux via les circuits de la grande distribution.

IV-1-3 - Concurrence des autres papiers

Le papier fabriqué avec des plantes annuelles est concurrencé par d'autres matériaux :

- **Papier à base de bois** : le concurrent le plus proche. Il a quasiment les mêmes avantages et les différences sont minimes. Cependant, le papier issu du bois n'a pas autant de flexibilité dans sa qualité que le papier à base de plantes annuelles. Pour du papier de haute qualité (présentant une bonne résistance au temps par exemple), il faut recourir, au moins partiellement, aux plantes annuelles.
- **Papier non-tissé** : en pleine expansion, il est partout. Il se développe rapidement dans les marchés de niche. Toutefois, il peut avoir besoin de fibres de plantes annuelles pour réduire les coûts, jouer sur les caractéristiques environnementales ou encore combler une lacune technologique.
- **Plastique** : bien installé dans le monde, il est en position dominante. Cependant, problèmes environnementaux et variations du cours du pétrole rendent son usage de plus en plus impopulaire.   l'avenir, le plastique pourrait donc concéder une partie de son terrain au profit du papier à base de plantes annuelles.

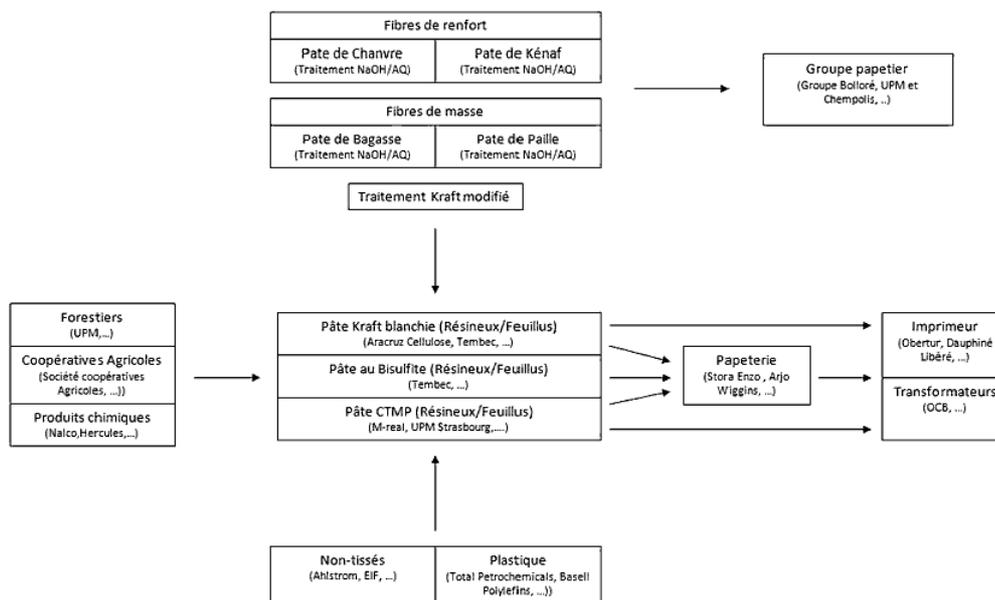


Figure 12 - Dynamique concurrentielle des plantes annuelles en papeterie représentée par le diagramme de Porter

IV-2 - Forces et faiblesses (matrice SWOT)

<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caractéristiques diverses • Production au niveau mondial • Secteurs de niche à haute rentabilité • Optique de développement durable (réutilisation des rejets) 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> • Productions modestes • Technologie moderne • Prix trop élevé • Secteur hétérogène et éparpillé • Stockage obligatoire des plantes annuelles • Modifications nécessaires des machines existantes
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faible coût de la main d'œuvre • Coût élevé du bois • Spécialisation possible impliquant des marchés de niche • Exigences environnementales actuelles • Labels poussant à freiner la consommation de bois 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crise économique ralentissant la R&D • Développement du papier non-tissé • Contraintes environnementales et légales

IV-3 - Perspectives

L'utilisation de plantes annuelles dans la fabrication de la pâte à papier ne semble en être qu'à son renouveau. En premier lieu, il semble important de favoriser la recherche & développement, d'étendre la culture de ces plantes – cela implique de trouver d'autres débouchés que la papeterie – et enfin, d'accroître les applications industrielles principalement en Chine où ce secteur est dynamique.

Facteurs de développement par ordre d'importance :

- Recherche et développement
- Augmentation du nombre de cultures et d'applications non papetières
- Augmentation du nombre d'usines de pâte dans le sud-est asiatique
- Augmentation du nombre de papeteries dans le sud-est asiatique
- Développement de marchés de niche
- Logique de développement durable
- Propriétés diverses

Variabes essentielles pouvant influencer sur l'émergence des plantes annuelles dans le procédé papetier :

- Techniques de mise en pâte et de séparation des fibres
- Prix des mat res premières (ex. : chanvre)
- Coûts des investissements (ex. : toile de formation)
- Prix des produits chimiques (ex. : soude - anthraquinone)
- Secteur géographique et cultures
- Développement des labels et acceptation par le public et les papetiers/transformatuers

Il y a de nombreux freins, notamment financiers, à l'accès des plantes annuelles sur le marché. Malgré tout, des projets scientifiques ou industriels sont lancés dans le domaine des plantes annuelles et les mentalités évoluent. Ces évolutions favorisent l'apparition de nouveaux produits et de marchés de niche.

IV-4 - Scénarios

Dans vingt ans, quelle sera la situation du marché des pâtes à papier utilisant des plantes annuelles ? Trois scénarios peuvent être établis. Le premier scénario semble possible : il se fonde sur l'extrapolation des données actuellement disponibles, notamment des statistiques de la

FAO. Le second est plus optimiste : il s'appuie sur la réalisation de certains objectifs techniques et environnementaux. Le dernier scénario est quant à lui pessimiste : il suppose la stagnation de l'utilisation des plantes annuelles comme cela s'est déjà passé dans certains pays.

IV-4-1 - Scénario 1 - Consommation extrapolée des plantes annuelles : l'Asie domine.

La zone Asie-Pacifique double sa consommation de plantes annuelles car celle des papiers et cartons augmente et les ressources en bois sont limitées. La Chine et l'Inde, les deux plus grands producteurs de pâte issue de plantes annuelles, mènent la tendance. Leurs produits finis s'imposent dans nos sociétés car l'utilisation des fibres végétales rencontrent les faveurs des consommateurs : ces derniers rejettent le plastique et lui préfèrent les produits naturels, issus de la biomasse. Il en résulte une demande croissante de plantes annuelles.

Dans les autres régions du monde, la consommation de plantes annuelles est stable, les habitudes n'ont pas changé. Le pourcentage de papiers et cartons comprenant ces matières végétales n'évolue pas. Cependant, le secteur énergétique s'intéresse à cette biomasse disponible, ce qui stimule le développement des techniques de culture et le lancement d'études scientifiques et économiques. Concurrencée par d'autres matériaux, l'industrie du papier tend de plus en plus à recourir à ces plantes annuelles afin de subvenir aux besoins de certains marchés de niche.

IV-4-2 - Scénario 2 - Explosion de l'utilisation des plantes annuelles : le papier redevient un matériau leader.

Le développement du continent asiatique conduit les pays occidentaux, grands producteurs de papiers et cartons, à exporter leurs productions et leurs habitudes. Or, en raison de son histoire et de ses faibles ressources forestières, l'Asie utilise d'importantes quantités de plantes annuelles et élève leur culture à un niveau industriel. Les conséquences sur le secteur du papier se font sentir : les techniques de mise en pâte et de fabrication du papier carton sont améliorées. Les constructeurs vendent désormais des machines à très forte production, basées sur l'emploi des fibres végétales. Des recherches dans le domaine génétique permettent d'accroître la qualité des plantes. Les autres pays du monde suivent la tendance. Le public, jusque là défavorable au papier, change d'opinion : ce matériau est reconnu comme étant fiable, peu onéreux, écologique et recyclable, au point de dénigrer l'utilisation du plastique considéré comme pas assez "vert". L'attrait pour le papier n'a jamais été aussi important. Les contraintes environnementales poussent à affiner au maximum les productions et les exploitations.

La composition du papier est à présent basée sur des assortiments de fibres. Ses nouvelles caractéristiques lui permettent de reprendre des marchés abandonnés par d'autres matériaux

- Le plastique affaibli par les hausses du cours du pétrole et les réglementations environnementales.
- Le papier non-tissé considéré comme polluant et non naturel par l'opinion publique.
- Le papier à base de bois, suite à la protection accrue des forêts.

IV-4-3 - Scénario 3 - Les fibres de plantes annuelles ne parviennent pas à s'imposer

L'utilisation des fibres de plantes annuelles ne réussit pas à s'imposer dans la fabrication de la pâte à papier. En Asie, les cultures souffrent de leur dispersion et de leur mauvaise organisation. Les cours de la pâte fluctuent énormément. Les contraintes techniques pesant sur les usines ne sont pas résolues. D'autres matériaux sont préférés au papier comme le plastique ou encore le non-tissé qui fait un véritable raz-de-marée sur les marchés.

En Europe, en dépit des efforts des partisans des plantes annuelles, la consommation ne décolle pas. Contraintes environnementales et essoufflement des marchés réduisent les investissements et freinent la R&D. Les questions climatiques et énergétiques préoccupent davantage que de savoir qui du papier à base de bois ou du papier à base de plantes annuelles, est le plus écologique. Ne présentant pas d'enjeux importants, l'utilisation des plantes annuelles est anecdotique, excepté en Asie.

V - Conclusion

Le sujet des plantes annuelles en papeterie est vaste et diversifié. Ainsi, certains végétaux ont des fibres qui servent en masse car elles coûtent moins cher que celles du bois. D'autres apportent des fibres utilisées en faible quantité comme renfort afin de conférer à la pâte des propriétés physiques intéressantes. D'autres encore offrent les deux types de fibres, de masse et de renfort. Enfin, des plantes produisent des fibres de cellulose quasi-pure tandis que d'autres présentent des taux de silice difficiles à gérer au niveau papetier.

Cette étude sur l'utilisation des plantes annuelles dans la fabrication de la pâte à papier n'est bien entendu pas exhaustive. Cette approche nous montre à quel point ces fibres végétales doivent apporter des avantages décisifs justifiant leur usage à grande échelle. Une telle transition dans le secteur du papier pose suscite de nombreuses difficultés. Nous avons recouru à l'analyse stratégique afin de donner une idée de ces problèmes et des contraintes du marché. Des informations récoltées, nous avons déduit des scénarios pour l'avenir : quelque soit le cas de figure envisagé, les plantes annuelles garderont un rôle dans le monde papetier.

Visant à donner quelques éléments de connaissance, ce mémoire n'aborde qu'une petite partie de ce sujet passionnant. Ainsi, d'autres végétaux, comme les plantes poussant naturellement (par exemple, le bambou), pourraient également être étudiés.

VI - Bibliographie - Webographie

	Energy varieties of sugar cane as novel source of fiber for the cellulose and paper industry.	Appita Journal, septembre 2008, vol.61, n°5, p.402-407
Trentesaux Y.	UPM et Chempolis lancent une nouvelle technologie. Nouvelle matière première.	La Lettre du Papier, 15 janvier 2008, n°256, p.2 Pap'Argus, 16 octobre 2008, n°237, p.14.
Reguant J., Rinaudo M.	Étude bibliographique sur les matériaux issus de la biomasse végétale. 01/09/98 - 31/05/99	CERMAV-CNRS, Grenoble Disponible sur : http://www.cermav.cnrs.fr/etat_art/revue_mater_issus_biomasse.pdf
Mathieu X., Salgueiro L.	Le chanvre dans l'industrie papetière	Cerig, mémoire, 2005 Disponible sur : http://cerig.efpg.inpg.fr/memoire/2005/chanvre-papeterie.htm
Saijonkari-Pahkala K.	Non-wood plants as raw material for pulp and paper.	Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, novembre 2001 Disponible sur : http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/sbiol/vk/saijonkari-pahkala/nonwoodp.pdf
Ganapathy P.M.	Asia-Pacific forestry sector outlook study: sources of non wood fibre for paper, board and panels production - Status, trends and prospects for India.	Food and Agriculture Organization of the United Nations, août 1997 Disponible sur : http://www.fao.org/DOCREP/W7703E/W7703E00.HTM
Hurter R.W.	Nonwood plant fiber uses in papermaking.	Paperonweb Disponible sur : http://www.paperonweb.com/Articles/plant_fiber_uses.pdf
Jahan M.S., Gunter B.G., Ataur Rahman A.F.M.	Substituting wood with nonwood fibers in papermaking: a win-win solution for Bangladesh.	BDRWPS Working Paper, janvier 2009, n°4 Social Science Research Network Disponible sur : http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1322292
Pande H.	What is the availability of tree-free pulping facilities, and future outlook? Les fibres non ligneuses et l'offre mondiale de fibres.	Conservatree - Paper Listening Study Disponible sur : http://www.conservatree.org/paperlisteningstudy/TreeFree/question44.html Unasylva, 1998, vol.49, n°193 Disponible sur : http://www.fao.org/docrep/w7990f/w7990f00.htm

VII - Annexe : Description des plantes annuelles utilisées en papeterie

- Abaca
- Alfa
- Bambou
- Canne à sucre
- Chanvre
- Cottonniers
- Grande ortie
- Jute
- Kenaf
- Lin
- Paille de céréales
- Ramie
- Sabai
- Sisal



[Accueil](#) | [Technique](#) | [Liens](#) | [Actualités](#) | [Formation](#) | [Emploi](#) | [Forums](#) | [Base](#)

Copyright © Cerig/Pagora 1996-2010

Mise en page : A. Pandolfi