

# Une nouvelle chaîne de défibrage de matières premières homogènes : le concept D.H.D.

Maurice CHERBIT\*, Jean-Claude ROUX\*\*

## Résumé

Dans la conception des pulpeurs, les constructeurs continuent de privilégier l'utilisation d'un appareil unique pour la remise en pâte. Or celle-ci fait intervenir des paramètres constants liés au choix de fonctionnement du couple rotor – cuve, mais également des paramètres liés à la matière première, qui eux, varient en continu pendant le cycle de travail. Cette variation est fonction, à chaque moment du cycle, de la dimension, de l'inertie, de la cinétique d'hydratation, de la résistance à sec et à l'état humide, du temps de séjour dans le pulpeur, de la concentration de travail... de la matière première.

Un couple rotor – cuve, avec un rotor tournant à vitesse fixe, ne peut s'adapter à ces conditions variables qu'au prix d'importants compromis techniques très défavorables au rendement énergétique de la remise en pâte.

Dans cette publication, et en se basant sur des concepts théoriques déjà dûment vérifiés, nous montrons comment une technologie innovante peut émerger à partir de tels concepts.

Un exemple industriel, sur une installation de 110 t/j, vient conforter et valider l'argumentaire scientifique et technologique ainsi développé dans cet article.

Une réduction de plus de 60 % de l'énergie massique consommée et une amélioration de la préparation des fibres au raffinage, sont obtenues par rapport aux pulpeurs conventionnels.

## 1. Principe de fonctionnement des pulpeurs conventionnels.

Les pulpeurs conventionnels défibrent les matières premières homogènes en mode discontinu. Leur principe commun de fonctionnement est basé sur la création d'un vortex important qui conduit la matière première vers le rotor ou mobile d'agitation. Les principales opérations du génie des procédés ainsi mises en œuvre simultanément sont [1], [2]:

l'agitation (par la mise en mouvement ou circulation de la suspension dans son ensemble),

**AUTEURS :** \*Maurice Cherbit, E.M.I.- L'Axiome - 44A, rue Charles Montreuil - 73 000 Chambéry - France  
Tél : +33 4 79 62 61 19 - Fax : +33 4 79 62 39 56 - emi-france@wanadoo.fr

\*\*Jean-Claude Roux, E.F.P.G. - I.N.P.G. - Domaine Universitaire - 461, rue de la Papeterie - 38 402 Saint-Martin d'Hères Cedex - France - Tél : +33 4 76 82 69 11 - Fax : +33 4 76 82 69 33 - Jean-Claude.Roux@efpg.inpg.fr

- 2 le mélange (par l'interpénétration de volumes locaux circulants),
- 3 la dispersion d'une phase solide au sein d'une phase liquide (par la réduction de la taille des agrégats fibreux).

Les chercheurs qui ont décrit et modélisé les principales fonctions intervenant dans la remise en pâte, n'ont souvent pas pris en considération le début du cycle, lorsque la matière première est encore de grandes dimensions, et sèche ou très peu hydratée. Or c'est cette phase qui détermine la majeure partie de la définition du rotor et de ses conditions de fonctionnement, la déstructuration de la matière première, et la cinétique d'hydratation découleront de ces choix.

De même, les forces qui agissent sur les éléments de pâte sont regroupées comme des contraintes de cisaillement uniquement, alors qu'il y aurait lieu de différencier les contraintes de traction, de flexion ou de torsion qui seraient plus représentatives des phénomènes intervenant surtout dans cette première phase.

Au début du cycle, les balles, dont l'inertie est importante, sont entraînées par le vortex vers le rotor. Les chocs répétés contre les ailettes du rotor sont très violents, et ces balles, puis leurs composants, se déstructurent, et s'humidifient d'autant plus rapidement que la surface au contact avec l'eau augmente.

Pour la majorité des papiers, après 3 à 5 minutes d'imprégnation totale, leur résistance à la traction diminue de 80 à 90% (figure 1). Toutes les forces de désintégration générées par le rotor auront donc des efficacités différentes en fonction de l'hydratation et donc de la résistance, de l'élément de pâte sur lequel elles s'appliquent.

Dès que la matière première commence à s'hydrater, les forces principales qui agissent sont localisées au contact direct avec le rotor, par la poursuite des effets de chocs de très haute intensité, et au voisinage immédiat du rotor par les brusques accélérations et changements de directions, de haute intensité.

Ces brusques accélérations et changements de directions vont être très efficaces jusqu'à 1 m environ du rotor. La réduction d'intensité de ces forces est proportionnelle au carré de la distance de l'élément de pâte au rotor.

Les éléments de pâte sont très peu affectés par les forces de frottements inter fibres de faibles intensités, car l'hydratation est encore réduite, et les forces de cohésion de ces éléments trop importantes.

Ensuite, l'influence des forces qui interviennent dans l'action de défibrage va évoluer.

L'accélération des éléments de pâte dans le vortex augmente avec la diminution de leur taille, jusqu'à ce qu'ils atteignent une vitesse proche de celle du rotor. Ils glissent alors contre les faces d'attaque des ailettes ou ne sont plus significativement affectés par les chocs.

Les éléments qui peuvent s'approcher du rotor, sont soumis aux forces d'accélération et de frottement, à haute vitesse de croisement, entre les surfaces de différents courants. Dès que l'hydratation est suffisante, les forces de frottement inter fibres, de plus faibles intensités, commenceront à agir, par leur fréquence et leur durée d'application, et seront d'autant plus efficaces que la concentration de travail est élevée.

Au fur et à mesure que la pâte s'hydrate, le volume du pulpeur où les forces générées par le rotor peuvent participer à la désintégration de la pâte, augmente.

Une autre force de très grande intensité va ensuite intervenir. C'est celle qui agit sur les pastilles ayant atteint des dimensions leur permettant de s'introduire entre les ailettes du rotor et la platine perforée. Le "maintient" de la pastille par l'ailette, contre la platine, et le jeu de l'ordre de 2 à 3 mm à ce niveau, rendent cette force très intense pendant tout le temps de son application. L'énergie est transmise avec un rendement particulièrement élevé à la pastille. Cette force est donc très efficace même si la résistance de la pastille est encore élevée.

## 2. Désavantages liés à la conception des pulpeurs conventionnels

**2.1-** La forme du rotor, son diamètre et sa vitesse de rotation sont principalement déterminés par les fonctions résistance aux chocs et circulation, avant toute considération de la fonction défibrage proprement dite. La circulation dans tout le volume de la cuve, indispensable dans ce concept, consomme beaucoup d'énergie, et en restitue très peu à la pâte, surtout à faible niveau d'intensité.

En effet, un élément de pâte passe d'une vitesse de l'ordre de 18 m/s lorsqu'il est très près du rotor, à 1 à 2 m/s lorsqu'il atteint la surface libre de travail. Ce n'est qu'au voisinage du rotor que les forces d'accélération et de ralentissement de l'élément de pâte sont les plus intenses et que la transmission d'énergie est la plus efficace. L'intensité de ces forces chute fortement après que l'élément de pâte s'est éloigné à 1 m environ du rotor. C'est à dire que sur un trajet total de 3 à 5 secondes, pour que cet élément de pâte passe du rotor à la surface supérieure de travail, et de la surface au rotor, il n'y aura que 0,1 seconde, soit 2 à 4 % du temps, pendant lequel il sera soumis à des forces de haute intensité. Dans le reste de la cuve, les autres forces ne pourront commencer à agir que lorsque

la matière première aura atteint un niveau d'hydratation qui rende sa résistance compatible avec la faible intensité de ces forces.

**2.2 -** Les balles sont rapidement conduites par le vortex vers le rotor pour y être déstructurées, imprégnées, hydratées et déchetées grâce aux chocs répétés des ailettes. Ces chocs sont disproportionnés, en intensité, avec l'opération à réaliser, sont dangereux pour la mécanique du pulpeur et occasionnent des fluctuations importantes au dessus de la puissance moyenne consommée, de l'ordre de 60 %, comme Fabry [3] les a mesurées. Ils impliquent une conception très robuste du rotor, qui conditionne l'épaisseur des ailettes et leur longueur active, alors que la période de déstructuration ne représente que 10 % environ du cycle de travail.

**2.3 -** Lorsque les fragments de balles se réduisent et perdent de l'inertie, ils sont souvent détournés par les courants ascendants générés par le rotor ou les courants parasites, qui les empêchent de revenir régulièrement vers le rotor. La distribution d'énergie à l'ensemble de la pâte apparaît non seulement hétérogène mais non maîtrisable dans ces conditions. Pour que la pâte atteigne dans son ensemble le "degré d'ouverture" souhaité, avant l'opération de raffinage par exemple, le défibrage doit alors se faire en marche discontinue et sur une durée de cycle suffisamment longue afin que les dernières pastilles soient ouvertes. Or, une partie importante de la pâte atteint une qualité de défibrage suffisante dès les premières minutes du cycle.

**2.4 -** La force intense de cisaillement appliquée entre le rotor et la platine perforée est disponible mais peu utilisée, particulièrement pour les pulpeurs à marche discontinue. C'est surtout au moment de la vidange que l'aspiration de la pompe permet le passage des éléments de pâte entre le rotor et la platine. Comme le temps du cycle a été déterminé pour obtenir une pâte entièrement défibrée avant son extraction, les petits agrégats de fibres ou les petites pastilles résiduelles, sans grande résistance, qui se présentent dans cette zone ne nécessitent plus cet apport d'énergie à haute intensité.

**2.5 -** Dans la conception des pulpeurs conventionnels, pour une taille donnée de cuve, il existe en général une taille de rotor tournant à une vitesse donnée. Celle assurant d'abord la circulation de l'ensemble du volume contenu dans la cuve, à la concentration de travail maximum compatible avec les conditions de fonctionnement de ce rotor. La production de pâte défibrée est alors déterminée exclusivement par le temps du cycle, car les forces générées par le rotor ne s'adaptent pas à la matière première à traiter, mais c'est la matière première qui doit s'adapter au traitement standard disponible.

**2.6 -** L'augmentation de la concentration de la pâte est un facteur limitatif de la qualité de la circulation dans les technologies classiques. Il devient nécessaire de développer au sein du volume agité des contraintes de cisaillement de plus en plus intenses pour obtenir des effets de défibrage efficaces sur la pâte. Une conséquence pratique est alors l'accroissement très significatif du volume occupé par le rotor.

### 3. Solutions proposées par le système DHD d'EMI

Pour remédier aux défauts mentionnés, EMI a conçu le système D.H.D. où les fonctions nécessaires et utiles à l'opération de remise en pâte, à savoir la déstructuration globale des balles, l'hydratation et le défibrage des agrégats, sont physiquement séparées afin de pouvoir les optimiser avec le minimum de compromis (figure 2).

**3.1 -** La déstructuration à grande échelle de la balle de matière première est réalisée à l'aide d'un outil spécifique comme des vis ou une guillotine.

La guillotine permet de couper la macule et de séparer en 2 ou 3 portions chaque balle de cellulose. Ainsi, dès leur chute du plateau de la guillotine sur le transporteur, les feuilles de cellulose commencent à se séparer, et cette séparation se poursuit lors du transfert de ces feuilles dans l'unité d'hydratation.

**3.2 -** Partant du constat qu'une grande gamme de papiers, imprégnés et hydratés, perdent de 80 à 90% de leur résistance à la traction dans les 3 à 5 premières minutes (figure 1), et que la cellulose permet d'obtenir ce résultat après seulement 2 ou 3 secondes, le système D.H.D. comprend une unité d'imprégnation et d'hydratation.

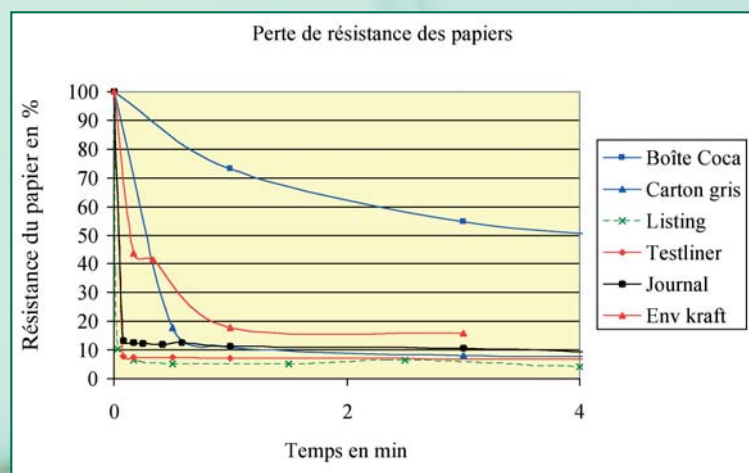


Figure 1. Pertes de résistances de différents papiers.

Celle-ci se compose d'un trommel à section polygonale à l'intérieur duquel des déflecteurs inclinés brassent régulièrement les fragments de balles de pâte pour séparer les feuilles et favoriser ainsi leur imprégnation et leur hydratation homogène, avant introduction dans l'unité de désintégration.

Ces deux premières opérations sont réalisées avec une énergie spécifique (ou massique) consommée très réduite, de l'ordre de 2 à 3,5 kWh/t suivant les tonnages traités, à comparer aux 10 à 12 kWh/t pour les pulpeurs conventionnels. Le pulpeur est ainsi alimenté avec une matière première fragmentée, éliminant tous risques de chocs contre les rotors, et hydratée pour que la résistance de ses constituants soit déjà uniformément réduite et permette à toutes les forces développées par le pulpeur d'être actives immédiatement.

**3.3** - Le pulper EMI est l'élément le plus novateur de cet ensemble. Il se compose d'une cuve dans laquelle sont montés un ou plusieurs arbres portant des rotors - disques de formes et de diamètres différents. Des stators fixés entre les étages des rotors, créent des chicanes de faibles volumes où la pâte est retenue à une échelle dimensionnelle maîtrisée, afin de recevoir en un temps très court, une puissance volumique intense.

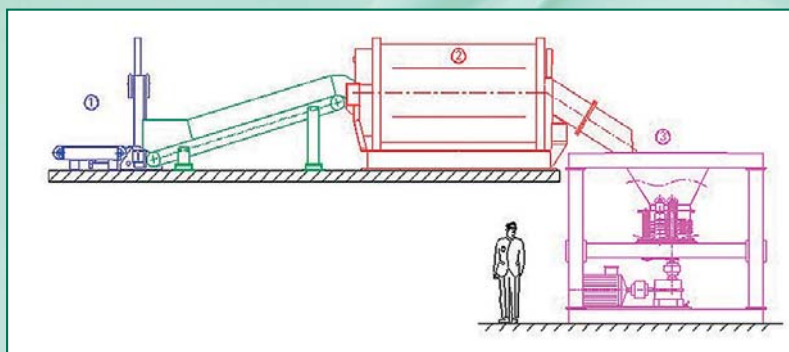


Figure 2. Le système D.H.D. = Destructuration - Hydratation - Défibrage

Dans le cas d'un pulper à plusieurs arbres, les rotors - disques peuvent se chevaucher (figure 3).

Il n'est plus nécessaire de créer un vortex dans la cuve, la pâte chemine par effet piston entre les rotors et les stators. Tous les éléments de pâte suivent un parcours similaire, et reçoivent une quantité égale d'énergie. C'est le concept d'**iso distribution d'énergie**.



Figure 3. Pulpeur EMI à 3 arbres avec disques de différents diamètres.

Le premier avantage de ce concept est que l'ensemble du système D.H.D. peut traiter les matières premières homogènes, en mode continu.

Le système D.H.D. est présenté schématiquement sur la figure 2.

## 4. Améliorations apportées par le système D.H.D.

**4.1** - Grâce à l'iso distribution d'énergie et donc à la possibilité de défibrer en continu les matières premières homogènes, le système D.H.D. permet d'obtenir :

- une réduction substantielle de l'énergie massique consommée
- une diminution de la taille de la cuve du pulpeur
- une réduction du temps de réaction
- une diminution de la taille des pompes d'apport d'eau, d'additifs éventuels et de vidange
- une diminution du volume du cuvier de décharge.

**4.2** - L'énergie est transmise à la pâte, à moyenne concentration : 15 à 20 %, uniquement par des chocs et des forces de cisaillement intenses et de fréquences élevées, similaires aux forces très efficaces, présentes entre le rotor et la platine perforée dans les pulpeurs conventionnels.

Comme elles s'appliquent dans des volumes contrôlés et très réduits, ces forces sont transmises à l'élément de pâte avec le plus haut rendement. Cette conception tend ainsi vers une optimisation du principe d'iso-distribution d'énergie à la pâte.

**4.3** - Le nombre d'arbres, de rotors et de stators, les entrefers entre rotors et stators, et les dimensions des rotors (donc de leurs vitesses périphériques) peuvent être déterminés, en fonction de la nature de la matière première

fibreuse traitée, de l'état de cette matière première à chaque étage du pulpeur, et de la production.

EMI peut ainsi agir sur plusieurs paramètres pour contrôler et optimiser l'opération de défibrage.

**4.4** - Comme il n'est plus nécessaire de créer une circulation dans la cuve du pulpeur E.M.I., la pâte peut être traitée à faible ou à moyenne concentration, avec les mêmes rotors disques. La cellulose de fibres longues blanchies est désintégrée à une concentration pouvant atteindre 20 %.

**4.5** - Il n'y a plus de chocs importants contre le rotor, qui risquent d'endommager la mécanique du pulpeur.

**4.6** - Le défibrage à moyenne concentration et à haut niveau d'énergie, favorise la flexibilité des fibres.

A la sortie du pulper EMI, le °SR est déjà supérieur de 2 points environ à celui de la pâte désintégrée en pulpeur conventionnel.

Mais de plus, la fibre semble mieux préparée pour le raffinage. Les essais réalisés en laboratoire montrent une économie de 25 % d'énergie massique pour atteindre 30 ° SR, par rapport à la pâte traitée à basse concentration dans les pulpeurs conventionnels.

## 5. Justifications physiques de ce nouveau concept

### 5.1 - Liens entre puissance volumique, coefficient de transfert énergétique et temps de cycle

Si tout le volume d'un fluide de viscosité dynamique  $\mu [Pa.s]$  est agité et si la puissance volumique  $\Phi_S [W/m^3]$  est consommée pour son agitation, alors l'application de la loi de Rayleigh permet de connaître l'ordre de grandeur de la contrainte de cisaillement en moyenne volumique  $\bar{\tau}_V [Pa]$  :

$$\bar{\tau}_V = \sqrt{\mu \cdot \Phi_S} \quad (1)$$

Même si cette relation ne semble devoir s'appliquer qu'aux contraintes d'origines plutôt visqueuses et inter fibres, elle a au moins le mérite de mettre en évidence une grandeur pertinente dans l'analyse des phénomènes complexes : **la puissance volumique** consommée pour agiter tout l'ensemble.

Une suspension fibreuse est ce que l'on a coutume d'appeler un « fluide complexe » ; lui définir une viscosité dynamique est un défi qui a été relevé dans d'autres articles, nous renvoyons le lecteur intéressé aux références suivantes [3], [4].

La puissance volumique intervient explicitement lors de l'étude de la cinétique de désintégration qui a fait l'objet de plusieurs publications [5], [6]. Tous ces auteurs ont caractérisé la désintégration par une cinétique du premier ordre. L'évolution de l'indice de pâte désintégrée est alors donnée par la relation :

$$I_d(t) = I - \exp(-B.t) \quad (2)$$

Cet indice vaut 0 à l'instant initial et vaudrait I si toute la matière première fibreuse était désintégrée, au bout d'un temps théoriquement infini. Dans cette loi d'évolution, B désigne la constante cinétique de l'opération de désintégration ou, plus concrètement, un indicateur de l'efficacité du transfert énergétique aux éléments fibreux. Plus ce coefficient B sera élevé et plus efficace sera la désintégration de la pâte.

La constante B est principalement fonction de 2 paramètres : la concentration massique x de la pâte et la puissance volumique  $\Phi_S$  par une relation déjà démontrée et validée pour tout type de pulpeur [6], avec des paramètres numériques ( $\alpha_0, \sigma$ ) adéquats correspondants :

$$B = \alpha_0 \cdot [\mu_{\text{eau}} \cdot \Phi_S]^{0.50} \cdot \exp(\sigma \cdot x) \quad (3)$$

Quelles sont les conséquences très pratiques des deux équations précédentes ? Le coefficient de transfert énergétique B (ou constante cinétique) sera d'autant plus fort que la puissance volumique  $\Phi_S$  et la concentration massique x seront toutes deux élevées. Pour un indice de désintégration de la pâte  $I_d$  donné, le temps de rétention t de la pâte dans le pulpeur sera d'autant plus faible que le coefficient B exprimant le transfert énergétique sera grand.

Or, c'est précisément grâce à une puissance volumique et une concentration, toutes deux élevées, que le pulpeur EMI fait la différence par rapport aux technologies traditionnelles, comme ceci va être démontré dans les paragraphes à venir.

L'industriel papetier est en général plus familier avec l'énergie nette massique consommée  $E_m [J/kg]$  ou la puissance qu'il qualifie de « spécifique », dans la mesure où cette dernière se calcule en rapportant la puissance nette  $P_{\text{nette}} [W]$  consommée à la production soutirée du pulpeur. Cette production est elle-même exprimée par le ratio de la masse de matières sèches M [kg], contenue dans le volume utile V [m<sup>3</sup>], divisée par le temps  $\bar{t} [s]$  d'un cycle de travail. Toutes ces grandeurs sont reliées par les relations suivantes :

$$E_m = \frac{P_{\text{nette}}}{M} \cdot t \quad (4)$$

et :

$$\Phi_S = \frac{P_{\text{nette}}}{V} \quad (5)$$

Si nous désignons par  $\rho$  la masse volumique de la suspension (dépendante de la concentration massique), alors la combinaison des 2 équations précédentes permet de déterminer le temps de rétention de la pâte pour un pulpeur donné, connaissant :

- la concentration massique de la matière fibreuse,
- l'énergie nette massique consommée
- la puissance nette volumique consommée.

$$t = \frac{E_m \cdot x \cdot \rho(x)}{\Phi_S} \quad (6)$$

Afin d'illustrer les grandeurs précédentes d'une façon pratique, nous allons comparer le fonctionnement d'un pulpeur classique avec celui d'un pulpeur EMI, installés en parallèle, sur une même ligne de production industrielle. Nous commencerons par définir les puissances consom-

mées pour un fonctionnement des pulpeurs dans l'air (« à vide »), puis dans l'eau et enfin avec une matière première fibreuse en cours de désintégration. Puis, nous chercherons à estimer les contraintes de cisaillement mises en œuvre, dans les 2 technologies étudiées, dans l'eau et dans la pâte. En rassemblant toutes les grandeurs physiques pertinentes du problème, nous évaluerons les performances comparées d'un pulpeur classique et d'un pulpeur EMI. En particulier, l'illustration de l'évolution de l'indice de désintégration de la pâte en fonction du temps (cinétique de la désintégration) sera donnée pour chaque pulpeur.

### 5.2 - Définition des différentes puissances consommées

Les questions qui peuvent se poser sont les suivantes : comment définir la puissance nette ? Cette puissance nette est-elle effectivement la puissance réellement consommée par la matière solide fibreuse ?

- En réalité, quand on fait fonctionner un pulpeur dans l'air, celui-ci consomme une certaine puissance dite « pertes à vide » pour l'entraînement, par le moteur et sa transmission, des parties mécaniques, du rotor, pour vaincre les frottements du presse étoupe,...etc. Cette puissance consommée est une constante et ne dépend que de la technologie adoptée.
- Si maintenant, le même pulpeur fonctionne, tout en étant rempli d'eau, de viscosité dynamique 55 fois supérieure à l'air (à 20°C par exemple), une puissance plus importante que précédemment est alors consommée. Dans un pulpeur classique, cette puissance (pertes à vide déduites) doit rendre compte de la circulation du fluide dans toute la cuve, circulation indispensable pour satisfaire les fonctions d'agitation et de mélange. Pour un pulpeur EMI, cette puissance correspond à l'entraînement des disques dans l'eau, au sein du volume utile très faible : 1 à 2 % de celui des pulpeurs conventionnels.
- Lorsque le pulpeur fonctionne avec une suspension fibreuse, la part supplémentaire de puissance (par rapport à l'eau) est consommée par la matière solide, c'est ce que nous appelons la puissance nette. Cependant, si on veut être rigoureux, il faut soustraire de la puissance totale consommée (pertes à vide déduites), la puissance consommée par l'eau (pertes à vide déduites) dans la proportion volumique qu'elle occupe dans la suspension, soit :

$$P_{solide} = (P_{totale} - P_{air}) - \left( (P_{eau} - P_{air}) \cdot \frac{V_{eau}}{V_{totale}} \right) = P_{nette} \quad (7)$$

Numériquement, on peut montrer que la correction apportée par la proportion volumique reste toujours pro-

che de l'unité, elle vaut 0,96 pour une fraction massique de solide de 6% et 0,90 pour une fraction massique de 15%. Si la correction n'est pas introduite, nous retrouvons l'expression usuelle, en première approximation, qui permet de s'affranchir de la connaissance des pertes à vide :

$$P_{nette} \approx P_{totale} - P_{eau} \quad (8)$$

Illustrons toutes ces grandeurs dans le cas du pulpeur classique et du pulpeur EMI, installés en parallèle dans les circuits de préparation de pâte d'une papeterie.

Grandeur physique	Pulpeur classique	Pulpeur EMI
Volume (m <sup>3</sup> )	20	0,4
Fraction massique (%)	6	15
Production (t/j)	70	110
Consommation de puissance (kW)		
- dans l'air	70	27,8
- dans l'eau	100	38
- totale dans la pâte	170	50
Consommation de puissance (kW) - (nette par la phase solide)	71,2	13
Consommation d'énergie (kWh/t)		
- totale massique	58,3	Pulpeur seul : 10,9 Pour la ligne DHD : 13,7
- nette massique	24,4	Pulpeur seul : 2,8 Pour la ligne DHD : 5,6
Consommation de puissance nette volumique (kW/m <sup>3</sup> )	3,56	32,5
Temps de rétention (s)	1500	50

Tableau 1.

Les 6 premières lignes du tableau 1 correspondent à des données numériques connues, résultant de mesures réalisées pour les 2 pulpeurs en fonctionnement en parallèle sur une ligne de production industrielle réelle. Que la comparaison soit choisie en énergie consommée, nette massique ou totale massique, la ligne DHD conduit, dans les 2 cas, à une réduction de la facture énergétique de près de 77%. Ce résultat est à mettre à l'actif, pour le pulpeur EMI :

- d'une puissance nette volumique 9 fois supérieure,
- d'une concentration massique 2,5 fois plus élevée.

Si l'équation (3) nous révèle que la puissance nette volumique  $\Phi_s$  voit son effet atténué par la racine carrée dans l'expression du coefficient B, elle nous indique également que l'effet de la concentration est, quant à lui, exponentiel. Ce dernier contribue à accroître le transfert énergétique d'un coefficient 10. Les deux effets se conjuguant, le temps de rétention dans le pulpeur EMI est alors réduit d'un facteur numérique 30 par rapport au pulpeur classique, ce qui est considérable.

**5.3 - Comparaison des contraintes de cisaillement mises en œuvre avec de l'eau**

Dans le cas de l'eau, les contraintes de cisaillement locales, en moyenne volumique, obéissent à la loi de Rayleigh déjà mentionnée. En considérant l'eau à 20°C, seules les puissances nettes volumiques consommées entrent en jeu dans chaque cas. Le tableau suivant précise ce point.

Grandeur physique Cas de l'eau	Pulpeur classique	Pulpeur EMI
Puissance nette volumique dans l'eau (kW/m <sup>3</sup> )	(100-70):20= 1,50	(38-27,8):0,4=25,5
Contrainte de cisaillement moyenne volumique (Pa)	1,23	5,05

Tableau 2.

Avec une puissance nette volumique consommée dans l'eau 17 fois plus forte dans le pulpeur EMI comparée à un pulpeur classique, la contrainte de cisaillement moyenne volumique correspondante est environ 4 fois plus élevée dans le pulpeur EMI.

**5.4 - Détermination de la contrainte de cisaillement moyenne dans un pulpeur classique**

Si nous remplaçons l'eau par une suspension fibreuse, pour appliquer la loi de Rayleigh, il faut déterminer la viscosité dynamique apparente de cette suspension dans les conditions de fonctionnement d'un pulpeur.

Ce travail a déjà été effectué, notamment dans la thèse de B. Fabry [3]. L'approche a consisté à globaliser tous les frottements solide-liquide et solide-solide, au sein du volume utile, sous la forme des frottements visqueux d'un fluide équivalent. La viscosité dynamique de ce « fluide complexe » est dénommée facteur de cisaillement par généralisation de la notion de viscosité apparente pour des suspensions de particules solides. Le facteur de cisaillement est ainsi défini à partir de la viscosité dynamique d'un fluide newtonien qui conduirait à la même consommation de puissance que la suspension pour la même vitesse d'agitation [4].

Nous pouvons ainsi estimer la viscosité apparente (ou facteur de cisaillement) de la suspension fibreuse en fonction

Grandeur physique Cas de la suspension	Pulpeur classique
Puissance nette vol. (kW/m <sup>3</sup> )	3,6
Contrainte de cisaillement moyenne volumique (Pa)	37,7

Tableau 3.

de la matière première et de la fraction massique. 400 fois la viscosité dynamique de l'eau lorsque la fraction massique est de 6% est une valeur numérique raisonnable pour des fibres de résineux et de feuillus d'égale proportion.

**5.5 - Estimation de la contrainte de cisaillement moyenne pour le pulpeur EMI**

Le travail de la contrainte de cisaillement moyenne cherchée conduit, par unité de temps, à la puissance nette consommée, principalement dans les frottements induits, lors du croisement des surfaces rotors-stators entre elles, au niveau local des entrefers.

Tous les arbres sont munis de différents types de rotors, mais tous les rotors d'une même fonction tournent à la même vitesse périphérique. Intéressons nous aux rotors de défibrage. Ils tournent à une vitesse périphérique  $V_p=7m/s$  (bien plus basse que celle des rotors conventionnels). On peut adopter comme rayon moyen, le rayon médian  $R=0,26m$ , dans ces conditions, une révolution d'un rotor sera obtenue en  $0,23s$ .

Il y a d'autant plus de croisements de surfaces qu'il y a d'étages installés. Commençons par déterminer les surfaces de croisement par étage et par tour de rotor pour :

- une combinaison rotor-rotor, soit :  $S_{r/r}$  x nombre de pales x nombre d'arbres concernés en rotor-rotor
- une combinaison rotor-stator, soit :  $S_{r/s}$  x nombre d'occurrences x nombre d'arbres concernés en rotor-stator

L'application numérique qui correspond au pulpeur EMI installé chez l'industriel conduit aux données suivantes : nombre de pales = 4 ; nombre d'arbres concernés en rotor-stator = 3 ; nombre d'étages = 6 ; nombre d'arbres concernés en rotor-rotor = 2 ; nombre d'occurrences = 8 ;  $S_{r/r} = 122\text{ cm}^2$  ;  $S_{r/s} = 74\text{ cm}^2$ .

Au total, par unité de temps, la surface cumulée de croisement est de  $7,06\text{ m}^2/s$ , ce qui conduit à une contrainte de cisaillement moyenne de 1130 Pa, soit une valeur numérique 30 fois plus élevée que dans le cas du pulpeur classique.

A noter que ce même facteur 30 a déjà été obtenu pour la réduction du temps de rétention dans le pulpeur EMI par rapport à un pulpeur traditionnel en fonctionnement réel. Ces confirmations explicitent la comparaison des courbes de cinétiques de désintégration obtenues avec le pulpeur conventionnel et le pulpeur EMI.

### 5.6 - Comparaison des cinétiques de désintégration pour les 2 pulpeurs

A même indice de désintégration de la pâte, on trouve une constante cinétique 30 fois plus élevée pour le pulpeur EMI par rapport au pulpeur classique. En d'autres termes, le pulpeur EMI atteint ses objectifs 30 fois plus rapidement que le pulpeur classique, installé en parallèle sur la même chaîne de désintégration de la pâte (figure 4).

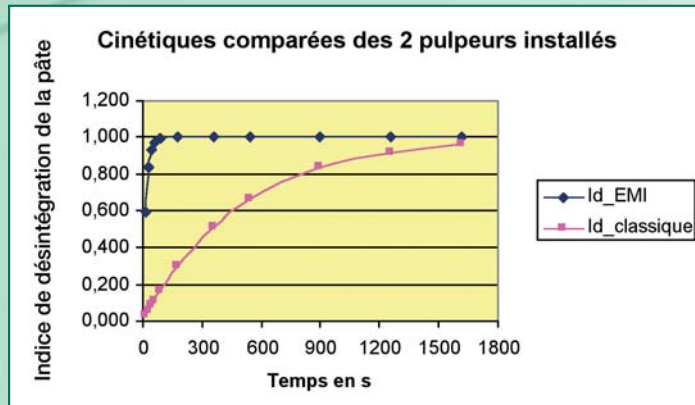


Figure 4. Cinétiques comparées de désintégration des 2 pulpeurs installés en parallèle sur une même chaîne.

## 6. Conclusions

La séparation des principales fonctions intervenant dans l'opération de remise en pâte, et le développement d'un pulpeur permettant de transmettre à la pâte une iso distribution d'énergie optimisée, mettant en jeu uniquement des forces de cisaillement intenses et transmissibles avec une grande efficacité à la matière première, ont permis d'obtenir dès la première installation industrielle une réduction de l'énergie spécifique consommée de plus de 60 %.

Installé en parallèle dans des circuits de préparation de pâte d'une papeterie, le pulpeur EMI présente une cinétique de désintégration 30 fois plus rapide qu'un pulpeur classique.

L'obtention de ces résultats avec le système D.H.D est dû :

- à la séparation des fonctions multiples requises dans l'opération de désintégration de la pâte
- à la conjugaison d'une puissance volumique et d'une concentration massique élevées dans le pulpeur EMI
- à la conception d'un pulpeur innovant qui privilégie les contraintes de cisaillement de forte intensité et de haute fréquence.

La très grande réactivité du système D H D travaillant en mode continu, conduit à des installations plus compactes et plus simples.

Enfin, le travail de la fibre à concentration élevée permet sa meilleure préparation au raffinage. Il faudra étudier plus en détails ce paramètre pour optimiser la distribution d'énergie entre la remise en pâte et le raffinage.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] - Roux, J.C., «Review Paper on pulp treatment processes », The Pulp and Paper Fundamental Research Society (P.P.F.R.S.), FRC Editor, Oxford, pp 19-80, septembre 2001

[2] - Holik, H., "Towards a better understanding of the defibering process": Tappi Engineering Conference, Chicago: p 223-232, 1988

[3] - Fabry, B., "Etude de la rhéologie des suspensions fibreuses concentrées dans le but d'améliorer le recyclage des papiers": Thèse de Doctorat de l'INPG en Génie des Procédés, Grenoble, 1999

[4] - Fabry, B., Roux, J.C., Carré, B., « Characterization of friction during pulping : an interesting tool to achieve good deinking », Journal of Pulp and Paper Science, 27, (8), pp 284-288, august 2001

[5] - Bennington, C.P.J., Smith, J.D., Sui, O.S. and Wang, M.H., "Characterization of re-pulper operation for newsprint deinking": Tappi Pulping Conference, Montréal: 3: p 1083-1095, 1998

[6] - Amaral, M.E., Renaud, M., Roux, J.C., « Cinétique de désintégration des pâtes à papier : modélisation du phénomène », Revue A.T.I.P., 54, (3-4), pp 76-84, juillet-septembre 2000

NE  
VOUS  
SOUCIEZ  
PLUS DU  
MOTTLING

blancheur • luminosité • mottling • brillant • bleeding  
rigidité • formation de barbes • opacité • projections  
recouvrement • lissé • stries de racle • peau d'orange

**CTP**  
THE SOLUTION FOR YOUR PAPER

www.ctp-gmbh.com  
info@ctp-gmbh.com  
Tel.: +49-8232-9090-0  
Fax: +49-8232-9090-11