

Procédés papetiers

Préparation des pâtes

par **André LEMAÎTRE**

Ingénieur de l'École Française de Papeterie de Grenoble (EFPG)

Docteur-ingénieur en automatique

Coordonnateur du département Conseil et Expertises au Centre Technique du Papier (CTP)

Fabrication des pâtes	J 6 900
1. Désintégration	J 6 901 – 2
2. Raffinage	– 2
3. Additifs	– 3
3.1 Charges dans la masse	– 3
3.2 Produits de collage	– 3
3.3 Agents de rétention	– 4
3.4 Additifs divers	– 4
3.5 Colorants et agents de fluorescence.....	– 5
4. Épuration	– 5
4.1 Épurateurs tourbillonnaires.....	– 5
4.2 Classeurs sous pression	– 6
5. Circuits de tête de machine	– 6
5.1 Circuits de pâte en tête de machine.....	– 6
5.2 Circuits d'eaux	– 7
5.3 Circuits de cassés	– 7
Machines à papier	J 6 902
Pour en savoir plus	Doc. J 6 902

Le principe de fabrication du papier a très peu évolué depuis son invention. À partir d'une suspension aqueuse de fibres cellulosiques, une feuille est formée sur une toile par égouttage : ce matelas fibreux est ensuite pressé et séché afin d'éliminer l'eau en excès. La fabrication du papier consiste donc à mettre en contact des fibres papetières avec de l'eau, pour favoriser les liaisons hydrogènes ($-OH$) et ensuite extraire cette eau de manière à stabiliser les propriétés de solidité du réseau fibreux. Ces liaisons entre fibres, créées dans la partie humide de la machine, vont apporter les principales qualités du matériau papier qui vont se matérialiser au cours des différentes phases de consolidation de la feuille que sont le pressage puis le séchage.

Si le principe n'a pas changé, les technologies utilisées au cours des différentes étapes ont, quant à elles, considérablement évolué. Ces transformations successives du procédé ont pour origine le souci permanent de l'industriel de fabriquer du papier de meilleure qualité, toujours plus vite et avec un coût de production le plus faible possible.

On peut distinguer deux phases principales dans le procédé :

— la **préparation de la pâte**, objet de cet article [J 6 901], qui va permettre d'envoyer à la machine à papier, une matière première adaptée au cahier des charges du papier souhaité, c'est-à-dire, bien dispersée, propre, décontaminée et complétée, si nécessaire, avec des additifs appropriés (charges, colorants, etc.) ;

— la fabrication du papier ou du carton, proprement dite, sur la **machine à papier**, où intervient la mise en forme définitive du matériau, qui fait l'objet de l'article [J 6 902].

La **pâte à papier**, qu'elle soit issue de procédés mécaniques ou chimiques ou qu'elle provienne de fibres de récupération, nécessite une phase de préparation, avant d'être envoyée à la machine à papier proprement dite.

Les étapes principales de cette préparation sont les suivantes :

- **désintégration et mise en suspension** ;
- **raffinage** ;
- **introduction d'additifs divers** ;
- **épuration** ;
- **dilution à la concentration souhaitée**.

1. Désintégration

L'objectif de cette phase de désintégration (ou pulpage) est de séparer les fibres les unes des autres, de manière à obtenir une **suspension fibreuse homogène**.

Lorsque la pâte est fabriquée dans l'usine même (usine intégrée ou utilisation de papiers de récupération), cette phase de mise en suspension n'est pas nécessaire. S'il s'agit d'une usine non intégrée, c'est-à-dire lorsque la matière première est achetée à l'extérieur, la pâte à papier arrive le plus souvent, sous forme de balles, composées de feuille de pâte à une humidité d'environ 10 %. Une désintégration de ces feuilles et une mise en suspension dans l'eau, est indispensable.

Nota : comme il est d'usage dans la profession, les pourcentages indiqués sont, sauf précision contraire, des pourcentages massiques.

Cette opération s'effectue généralement dans des récipients cylindriques (**pulpeurs**) équipés de rotors à dents ou à lames, capables de créer une agitation violente de la pâte dans l'eau (figure 1). L'alimentation en balles du pulpeur est assurée par gravité à l'aide d'un tapis roulant. Cette désintégration s'effectue suivant les cas en continu ou en discontinu et à plusieurs niveaux de concentration : le plus souvent faible (3 à 5 %), moyenne (6 à 10 %) ou forte (10 à 15 %). À ce stade, la dilution est effectuée avec des eaux clarifiées (voir § 5). L'énergie électrique consommée varie de 30 à 70 kWh/t.

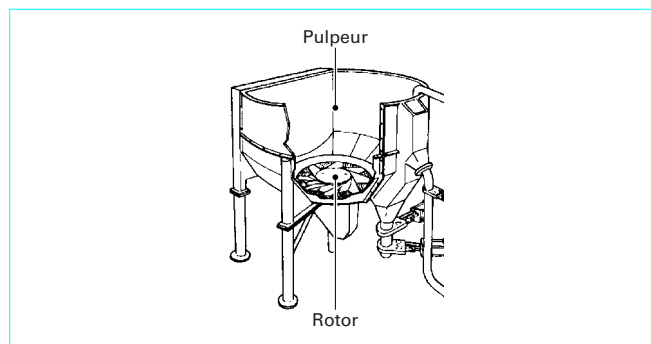


Figure 1 – Schéma d'un pulpeur pour pâte chimique (d'après Black Clawson)

La pâte, une fois désintégrée, contient une certaine quantité d'amas de fibres (pastilles) qu'il est nécessaire de désagréger dans des appareils spéciaux nommés « **dépastilleurs** ». Ces systèmes sont constitués de deux disques (un rotor et un stator), munis de lames ou de dents et tournant à grande vitesse (1 000 à 3 000 t/min). Ce dépastillage s'effectue à 3-6 % de concentration. L'énergie électrique consommée varie de 15 à 70 kWh/t.

2. Raffinage

L'objectif de cette étape fondamentale de la préparation de la pâte est de modifier par une **action mécanique**, l'état physique des fibres afin d'obtenir les qualités requises pour la mise en œuvre et l'utilisation du papier fabriqué. Si cette phase était supprimée, le papier produit à partir de fibres non raffinées n'aurait jamais (sauf exception pour le papier buvard) les caractéristiques physiques souhaitées.

Le raffinage a trois actions principales sur les fibres, avec des conséquences diverses sur le procédé de fabrication et sur les propriétés du papier :

- le **gonflement** ou l'hydratation des fibres qui se traduit par une pénétration de l'eau à l'intérieur et une augmentation de leur souplesse ;
- la **fibrillation** ou création de fibrilles et d'éléments fins qui vont contribuer à augmenter les possibilités de contact entre fibres et donc de liaisons ;
- la **coupe**, qui malheureusement diminue la longueur des fibres mais qui améliore l'uniformité de leur répartition sur la toile de fabrication.

Le raffinage influence fortement la formation de la feuille et ralentit l'égouttage du matelas fibreux sur la table de formation. L'efficacité du pressage est diminuée et le retrait sens travers pendant le séchage est accentué. Les caractéristiques du papier final sont très dépendantes de l'intensité du raffinage, avec souvent des effets contradictoires : l'épair est amélioré par le raffinage alors que l'opacité, la blancheur, la déchirure et la perméabilité à l'air diminuent ; en revanche, l'éclatement, la traction, l'allongement à la rupture et la rigidité augmentent avec l'hydratation et la fibrillation, mais diminuent avec la coupe.

Anciennement, l'opération de raffinage était réalisée, en discontinu, dans des piles constituées d'un canal en circuit fermé, où la pâte circulait entre un cylindre à lames parallèles et une platine à lames inclinées. Actuellement, on utilise essentiellement deux types de matériel, fonctionnant en continu ou en discontinu :

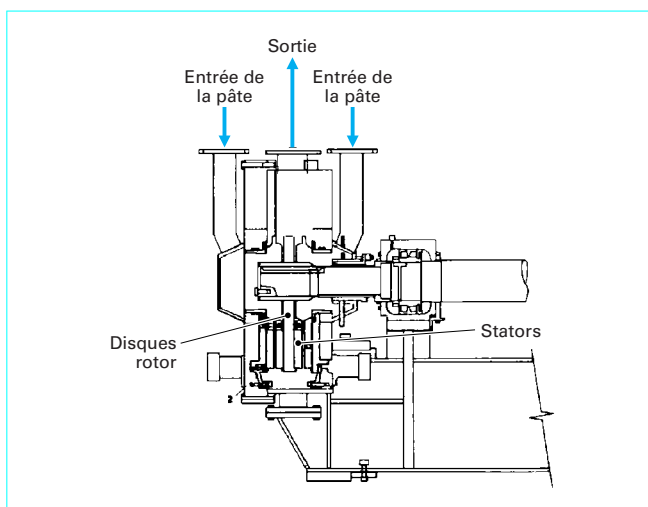


Figure 2 – Schéma d'un raffineur à disque (d'après Allimand)

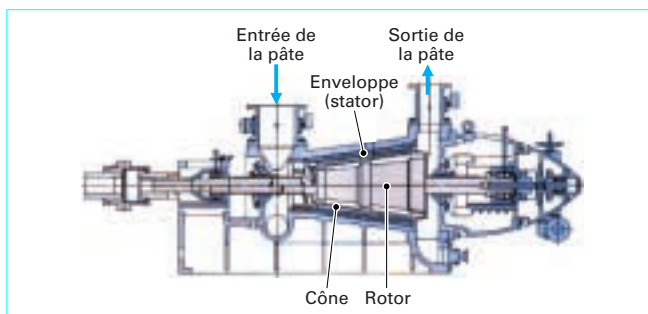


Figure 3 – Schéma d'un raffineur conique (d'après Allimand)

– le raffineur à disques (figure 2) : il se compose d'un disque rotor muni de lames, tournant entre deux stators également équipés de lames mais inclinées en sens inverse ;

– le raffineur conique (figure 3) : il est constitué d'un stator et d'un rotor interne, tous deux munis de lames inclinées.

Le raffinage de la pâte s'effectue parfois en deux stades, afin de privilégier certaines actions par rapport à d'autres. Lors de l'utilisation de pâtes d'origines diverses, le raffinage peut s'opérer en mélange ou de façon séparée. Les principaux paramètres de réglage de chaque stade de raffinage sont : la puissance spécifique consommée (en kWh/t), la charge spécifique d'arête (en $W \cdot s/m$) qui traduit la sévérité des impacts au niveau des arêtes de lames, et dans une moindre mesure, la concentration de la pâte (en général, entre 2 et 6 %).

Le raffinage est un poste gros consommateur d'énergie électrique : de 50 à 500 kWh/t de papier. Certains papiers spéciaux nécessitent jusqu'à 3 000 kWh/t.

3. Additifs

La pâte une fois raffinée est stockée à 3-4 % de concentration, dans un cuvier, dit cuvier de mélange, où seront ajoutés divers produits auxiliaires, avant épuration finale et dilution.

Ces additifs ont pour rôle soit d'améliorer certaines propriétés physiques et optiques du papier (charges, colorants et produits de collage), soit d'optimiser les étapes de la fabrication (produits de rétention, additifs divers). On distingue :

- les charges dans la masse ;
- les produits de collage ;
- les agents de rétention ;
- les additifs divers ;
- les colorants et agents de fluorescence.

3.1 Charges dans la masse

Les charges utilisées en papeterie peuvent être introduites soit dans la masse, soit en surface par les différents systèmes d'enduction en ligne et de couchage. On ne parle dans ce paragraphe que des charges introduites dans la masse. Le taux dans le papier fini peut atteindre 30 % en masse par rapport aux fibres sèches. Les produits rencontrés sont essentiellement le **kaolin** et le **carbonate de calcium** et en plus faibles quantités, le **dioxyde de titane**, le **talc**, le **sulfate de calcium**.

Le rôle de ces charges est en général d'améliorer l'aptitude à l'impression et les propriétés optiques des papiers impression-écriture telles que l'opacité, la blancheur et le lissé. En revanche, les caractéristiques mécaniques du papier (longueur de rupture, éclatement, déchirure) diminuent sensiblement avec le taux de charges. Leur coût étant en général plus bas que celui de la pâte (à l'exception du dioxyde de titane), il est souvent économiquement intéressant de substituer les fibres par des charges dans la masse.

Elles sont ajoutées en partie humide dans la composition fibreuse. Elles ne sont retenues que partiellement au niveau de la toile de fabrication, avec des rétentions en charges pouvant varier de 50 à 80 %, suivant le système de rétention utilisé (voir § 3.3).

Les principales caractéristiques demandées à ces produits sont un bon niveau de blancheur, un indice de réfraction élevé, une bonne rétention sur toile, une abrasivité faible et un prix bas.

3.2 Produits de collage

Le collage a pour objectif d'améliorer le caractère hydrophobe du papier (celui-ci étant au départ un matériau fortement hydrophile), c'est-à-dire sa résistance à la pénétration de l'eau et des liquides aqueux. Comme les charges, les produits de collage utilisés en papeterie peuvent être introduits soit dans la masse, soit en surface par les différents systèmes d'enduction en ligne (presse encolleuse). On ne s'intéresse dans ce paragraphe qu'au collage dans la masse.

Le principe repose sur l'adjonction d'un produit à caractère hydrophobe, susceptible de se fixer sur les fibres de cellulose de manière à les enrober le mieux possible. Ce produit doit se caractériser par :

- une facilité à la dispersion en milieu aqueux ;
- une bonne rétention sur les fibres ;
- une bonne efficacité en ce qui concerne l'hydrophobie conférée à la feuille.

On distingue deux grands types de collage dans la masse :

- le collage en milieu acide ;
- le collage en milieu neutre.

■ Collage en milieu acide

Lorsque le papier est fabriqué en milieu acide, les produits de collage utilisés sont le plus souvent à base de **résines d'origines naturelles** comme par exemple les résines de colophane. Ces résines, sous forme de savons ou d'émulsions, doivent être introduites obligatoirement en mélange avec du sulfate d'aluminium, qui les rend insolubles par précipitation. La rétention de ces particules de précipité, lors de la formation de la feuille, ne leur assure pas une fixation

définitive sur les fibres. Cette fixation et donc l'obtention du collage n'intervient qu'au niveau de la sécherie, sous l'action de la température. En effet au cours du séchage de la feuille, les précipités de collage ramollissent, s'étalent et couvrent la surface des fibres. La montée en température des premiers cylindres sécheurs doit cependant être progressive. La fabrication du papier en milieu acide a tendance à disparaître et à être remplacée par le milieu neutre dont le principal avantage est de produire des papiers avec une meilleure aptitude au vieillissement.

■ Collage en milieu neutre

Dans le cas du collage en milieu neutre, on utilise des résines de synthèse de deux grandes familles, les **AKD** et les **ASA** :

La résine de synthèse la plus répandue est l'alkyl ketène dimère (AKD). L'effet de collage est alors obtenu par réaction chimique, avec des molécules contenant des groupements hydroxyles (—OH), comme la cellulose. Cette réaction est d'autant plus rapide que la température et le pH sont élevés. La dispersion de l'AKD nécessite l'utilisation d'amidon cationique comme stabilisateur d'émulsion. L'amidon cationique est un amidon qui a été cationisé en fixant des groupements aminés positifs, ayant plus d'affinité pour la cellulose chargée négativement. Le niveau de rétention sur la toile de formation est fonction du système de rétention choisi (voir § 3.3). Comme pour les résines naturelles, la réaction de fixation sur les fibres intervient pendant la phase de séchage du papier, après évaporation de l'eau entourant les fibres et l'AKD.

Des anhydrides d'acides gras et des anhydrides substitués (anhydrides succiniques substitués : ASA, anhydrides stéariques...), de structures moléculaires très proches de celle de l'AKD sont également utilisés comme agent de collage.

La quantité de produit introduite dépend bien sûr du degré de collage souhaité. À titre d'exemple les doses industrielles d'AKD utilisées pour les papiers impression-écriture varient entre 0,5 % et 1 % en masse par rapport au papier fini. D'une manière générale, la facilité de collage d'un papier est fonction :

- du type de pâte utilisée dans la composition fibreuse, les pâtes « kraft écu » étant les plus faciles à coller ;
- de la présence de charges dans la composition, le carbonate de calcium étant celle qui perturbe le plus le collage ;
- du point de fonctionnement (température, pH, système de rétention, présences d'additifs divers).

3.3 Agents de rétention

Les agents de rétention sont utilisés pour améliorer la rétention des particules solides (fibres, morceaux de fibres, éléments fins, charges, additifs divers) sur la toile de formation, pendant la phase d'égouttage. Ces produits sont soit utilisés seuls, soit en mélange : ils forment alors ce que l'on appelle un « **système de rétention** ».

L'action de ce système se rapproche d'un mécanisme de coagulation/floculation. C'est pourquoi, il a non seulement une influence sur la quantité de particules solides retenues sur la toile (rétention), mais aussi sur la floculation des fibres (qualité de la formation de la feuille-épair) et également sur l'aptitude à l'égouttage de la composition (vitesse de déshydratation - production). La mise au point et l'optimisation de ces systèmes de rétention sont donc très délicates, compte tenu des actions souvent contradictoires de chacun des produits qui les composent. Les paramètres principaux qui influent sur les performances d'un système de rétention sont les suivants :

- la composition fibreuse, les charges et autres additifs ;
- le pH, la température ;
- la quantité de chaque produit ;
- le lieu et l'ordre d'introduction de chaque produit ;
- le cisaillement de la suspension.

Les produits les plus utilisés sont des polymères organiques synthétiques comme les polyacrylamides modifiés (PAM) cationiques

ou anioniques, les polymères cationiques (polyéthylèneimines : PEI), mais aussi des produits organiques naturels comme l'amidon cationique et des produits minéraux, notamment des sels d'aluminium comme le sulfate d'alumine et le polychlorure d'aluminium (PAC) et des silicates anioniques à microparticules.

Les modes d'action de ces produits varient en fonction de leur cationicité : les produits cationiques agissent soit par neutralisation de la charge négative de la cellulose, soit par adhérence en « mosaïque », soit par formation de « ponts ». Les produits anioniques n'agissent correctement qu'en présence d'un autre produit cationique comme le sulfate d'alumine.

Parmi les systèmes de rétention multicomposants utilisés dans l'industrie, on peut citer (avec l'ordre d'introduction préférentiel) :

- amidon cationique + sel d'aluminium ;
- sel d'aluminium + amidon cationique + silicate anionique à microparticules ;
- polyacrylamides cationique (C-PAM) + bentonite ;
- polychlorosulfate d'aluminium (PACs) + amidon cationique + polyacrylamides cationique (C-PAM) ;
- polychlorosulfate d'aluminium (PACs) + amidon cationique + polyacrylamides anionique (A-PAM) ;
- polyéthylèneimines (PEI) + polyacrylamides anionique (A-PAM) ;
- etc.

Comme précédemment indiqué, les performances dépendent des quantités introduites et des lieux d'introduction. Les quantités optimales varient entre 0,05 % en masse par rapport au papier sec, pour les polymères synthétiques, jusqu'à 1 % pour les sels d'aluminium et l'amidon cationique. Sur machines industrielles, les taux de rétention totale obtenus sont en moyenne de 50 à 80 % avec parfois quelques valeurs supérieures.

3.4 Additifs divers

Les autres additifs utilisés à ce stade de la fabrication peuvent se classer ainsi :

- les produits améliorant la résistance à l'humidité du papier ;
- les produits améliorant les propriétés mécaniques du papier ;
- les produits antimousses ;
- les agents biocides ;
- les floculants et agents de fixation.

■ Produits améliorant la résistance à l'humidité du papier

Ces produits, ajoutés lors de la préparation de la pâte ont pour but d'améliorer la solidité du papier à l'état humide. Les sortes concernées sont les papiers sanitaires et domestiques, les papiers pour emballage alimentaire, les papiers pour sac, les étiquettes, les cartes, les papiers filtre, etc. Les produits utilisés sont à base de polymères améliorant les liaisons entre les fibres, tels que les résines urée formol (UF) et mélamine formol (MF) pour le milieu acide et la résine polyamideamine-épichloridrine (PAA-E), également utilisée comme agent de rétention simple, pour le milieu neutre. Les quantités introduites peuvent aller jusqu'à 5 % en masse, suivant les applications.

■ Produits améliorant les propriétés mécaniques du papier

Des produits améliorant la solidité du papier à l'état sec sont parfois ajoutés dans la masse. Il s'agit le plus souvent d'amidon (pomme de terre, maïs ou blé) à l'état natif (de faible rétention sur toile : 50 % maximum) ou d'amidon cationique (rétention de 90 à 95 %) déjà mentionnés comme agents de rétention. Ces produits sont souvent déposés par enduction au niveau de la presse encolleuse (cf. [J 6 902, § 3.2]).

■ Produits antimousses

Ces produits sont utilisés pour prévenir les risques de développement de mousses dans les circuits et aussi pour faire disparaître la mousse déjà formée. L'air contenu dans la pâte, malgré l'utilisation de dispositifs de désaération, est à l'origine de ces mousses qui peu-

vent causer des défauts à la surface du papier lors de la formation de la feuille. Ces produits introduits avant la caisse de tête, en très petite quantité, sont principalement des composés organiques, des huiles minérales et végétales ou des acides gras.

■ Agents biocides

Les **slimes** sont des dépôts biologiques, qui peuvent se former dans les eaux des circuits de la machine à papier et se déposer dans les cuiviers, les conduites, sur les toiles et habillages de la machine. Ces dépôts perturbent sérieusement le fonctionnement de la machine et dégradent ses performances, en occasionnant parfois des taches, des trous dans la feuille, voire des casses. La prolifération de ces slimes peut être freinée par des traitements à base de biocides, qui agissent sur les micro-organismes, présents dans les eaux de fabrication, à l'origine de ces dépôts. Les produits utilisés sont des agents antiseptiques (bactéricides ou fongicides) à base de composés chimiques organiques (sulfo-organique, bromo-organique ou organo-nitrique). Ces traitements sont exécutés périodiquement en fonction des problèmes rencontrés.

■ Floculants et agents de fixation

Certains dépôts non biologiques gênent également la fabrication du papier, notamment pour les sortes à base de fibres recyclées (stickies secondaires), pour les papiers à base fibres vierges (poix – « *pitch* ») et pour les papiers couchés (« *white pitch* ») :

Les **stickies dits « secondaires »** sont des précipités de matières dissoutes et de colloïdes issus des colles et adhésifs présents dans les fibres recyclées. La formation de ces dépôts intervient généralement lors de l'évaporation de l'eau. La conséquence est un encrassement de la surface des cylindres sécheurs et des habillages de sécherie, qui provoquent souvent des casses de feuille.

L'apparition de dépôts sur la toile de formation, dans la section des presses et en sécherie, appelés « *pitch* » (**poix**) est liée à la présence de poix dans les pâtes mécaniques et chimiques. Les dépôts particuliers appelés communément « *white pitch* » ont pour origine la réintroduction de cassés couchés dans la fabrication. Les sauces de couchage contiennent en effet certains additifs synthétiques (agents de collage, liants de couchage, latex...) qui, lors de la remise en suspension des cassés couchés, viennent enrichir les eaux de fabrication en matières dissoutes et colloïdales. À la suite d'un changement brutal de température ou de pH ou lors de l'évaporation de l'eau, ces matières sont déstabilisées ; elles coagulent, précipitent et forment des dépôts sur les organes principaux de la machine. L'équilibre physico-chimique de la partie humide (rétention) peut également être perturbé.

Divers produits sont introduits lors de la préparation de la pâte et pendant le traitement des cassés couchés, pour tenter d'éviter la formation de ces stickies secondaires et de ces « *pitch* » et « *white pitch* », avec plus ou moins de succès. Ce sont essentiellement des agents absorbants (talc, bentonite), des agents de fixation coagulants (sulfate d'aluminium, polymères cationiques à bas poids moléculaire : ex : PolyDADMAC, PEI) et des agents floculants (polymères cationiques à haut poids moléculaire).

3.5 Colorants et agents de fluorescence

La coloration d'un papier peut être obtenue soit par coloration dans la masse, soit par coloration de surface en *size presse* ou avec système de couchage. La coloration dans la masse est la méthode la plus utilisée. Les colorants, les pigments et les agents de fluorescence sont soit préparés en discontinu (*batch*), soit introduits en continu (pompes doseuses).

Colorants : différentes sortes de colorants sont utilisées, en fonction de la physico-chimie de la partie humide : les colorants cationiques, les colorants neutres, les colorants anioniques. Ce sont des colorants organiques solubles dans l'eau. Des agents de fixation

sont souvent nécessaires pour améliorer leur rétention sur les fibres, qui peut toutefois atteindre 98 %.

Pigments : sont utilisés soit des pigments minéraux, soit des pigments organiques. Ils se comportent comme des charges dans la masse et la rétention sur toile est du même ordre de grandeur. Il s'ensuit des eaux fortement chargées en colorants et donc des traitements ultérieurs pour diminuer ces pertes. Les taux d'utilisation de ces colorants et de ces pigments varient entre 0,1 et 10 % en masse par rapport au papier sec, suivant les cas.

Agents de fluorescence : les agents de fluorescence ou azurants optiques servent à renforcer l'impression de blancheur de la feuille de papier, par ré-émission du rayonnement ultraviolet absorbé, sous forme de fluorescence. Le taux moyen d'utilisation est d'environ 1 % en masse par rapport au papier sec.

À chaque changement de teinte, les circuits de fabrication correspondants doivent être lavés avant de passer à la sorte suivante, ce qui entraîne des pertes de productivité importantes et une augmentation des rejets vers la station d'épuration, notamment dans le cas de la préparation en discontinu.

4. Épuration

L'objectif de cette phase d'épuration est de débarrasser la pâte qui va être envoyée sur machine, de ses impuretés résiduelles : bûchettes, incuits, pastilles, plastiques, encres, sables, etc.

Deux types d'épurateurs sont utilisés : les **épurateurs tourbillonnaires** (hydrocyclones ou « *cleaners* ») et les **classeurs sous pression** (« *screens* »).

En tête de machine, on installe plusieurs types d'épuration en série :

- d'abord un premier groupe d'épurateurs tourbillonnaires, pour l'épuration grossière de particules lourdes ;
- et ensuite juste avant la caisse de tête un deuxième groupe de classeurs sous pression, pour une épuration plus fine.

Pour certaines sortes, notamment celles avec 100 % de fibres recyclées, l'épuration tête de machine ne comporte que des classeurs sous pression, la préparation des fibres recyclées proprement dite ayant déjà éliminé les plus gros contaminants.

4.1 Épurateurs tourbillonnaires

Ces systèmes, basés sur la **force centrifuge**, éliminent les impuretés lourdes (sables, bûchettes, encres, pastilles, écorces, etc.). Le flot de pâte arrive tangentiellement par la partie supérieure de l'appareil en forme de cône inversé (figure 4). Les impuretés les plus lourdes (par rapport à la densité des fibres) sont éliminées dans la partie basse du cône. La pâte épurée est évacuée par le haut de l'appareil. L'efficacité d'élimination est d'autant plus importante que la pâte est diluée. Les concentrations habituellement utilisées varient entre 0,7 et 1,5 %.

Les densités des contaminants étant en général, proches de celle des fibres, il est nécessaire de traiter la pâte en plusieurs étapes. Ces hydrocyclones sont disposés en 2, 3, 4 voire 5 **étages successifs**, montés en cascade afin de minimiser les pertes en fibres. Chaque étage est composé d'une série d'appareils de petite dimension, installés en parallèle, leur nombre étant fonction du débit de pâte à traiter. À chaque étage, la pâte envoyée se décompose en deux parties : les acceptés et les refus. Les acceptés du premier étage, sont envoyés à l'admission des classeurs sous pression. Les refus de ce premier étage sont envoyés après dilution avec des eaux collées ou des eaux blanches, à l'entrée du deuxième étage. Les acceptés de ce deuxième étage viennent alimenter l'entrée du premier étage et les refus sont envoyés vers le troisième étage après une nouvelle dilution et ainsi de suite. Les rejets du dernier étage partent à la station d'épuration.

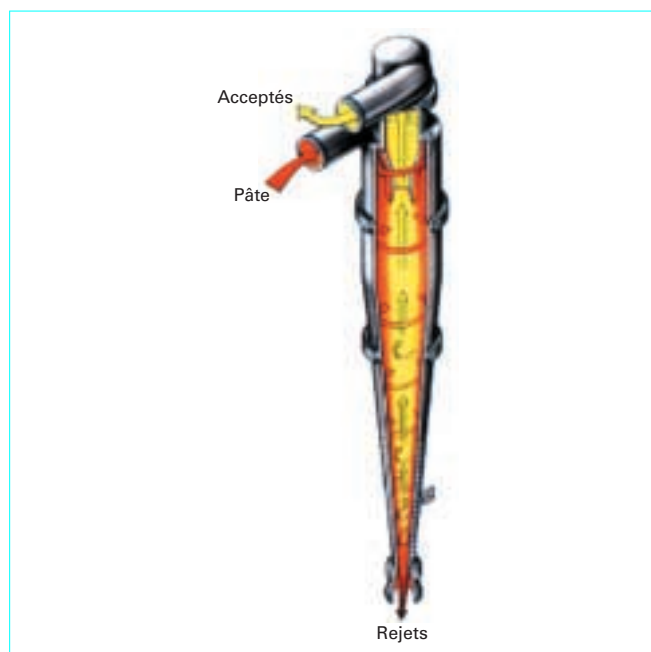


Figure 4 – Schéma d'un épurateur tourbillonnaire (d'après Voith)

Ces épurateurs tourbillonnaires sont également utilisés sur la pâte plus concentrée (4 %), pour éliminer les particules les plus grossières (sable, verre, morceaux métalliques), par exemple avant raffinage. L'objectif est d'éviter l'usure des plaques de raffineurs.

Les impuretés légères (plastiques, polystyrènes, hot-melts, stic-kies...) peuvent être éliminées par des épurateurs spéciaux (également centrifuges) pour contaminants légers. Une dilution (environ 1 %) avant épuration est également nécessaire pour assurer une bonne efficacité d'élimination.

4.2 Classeurs sous pression

Cette dernière étape d'épuration fine avant la machine à papier est effectuée dans un ou deux étages de classeurs sous pression (figure 5). Ces appareils sont des systèmes de classage (séparation par différence de taille : films plastiques, bûchettes, contaminants granulaires, stickies) sous pression, à tamis cylindriques à trous ou à fentes calibrées. Un rotor placé au centre du tamis cylindrique entraîne la pâte à des vitesses pouvant aller jusqu'à 25 m/s. Ce rotor génère des pulsations de pression qui permettent une séparation des fibres qui passent à travers les fentes du tamis et des impuretés qui s'accumulent sur sa surface. L'efficacité d'épuration dépend du type de rotor (pales, foils), du type de tamis (lisses ou profilés), de la vitesse de passage et bien sûr du diamètre des trous et de la largeur des fentes. La largeur minimale actuelle des fentes est de 0,1 mm. L'alimentation du classeur, en général de type centrifuge, s'effectue par le haut de l'appareil. Le décolmatage du tamis est assuré par les pulsations de pression du rotor et les refus sont évacués dans la partie inférieure du panier cylindrique.

Dans un système d'épuration fine en tête de machine à deux étages, le premier étage de classeurs sous pression est alimenté par les acceptés de l'épuration tourbillonnaire, après dilution avec les eaux collées. Les refus de ce premier étage sont envoyés à l'entrée d'un deuxième étage de classeur sous pression, après une nouvelle dilution. Les acceptés de ce deuxième étage retournent à l'entrée du premier étage d'épuration tourbillonnaire. Les refus sont traités sur

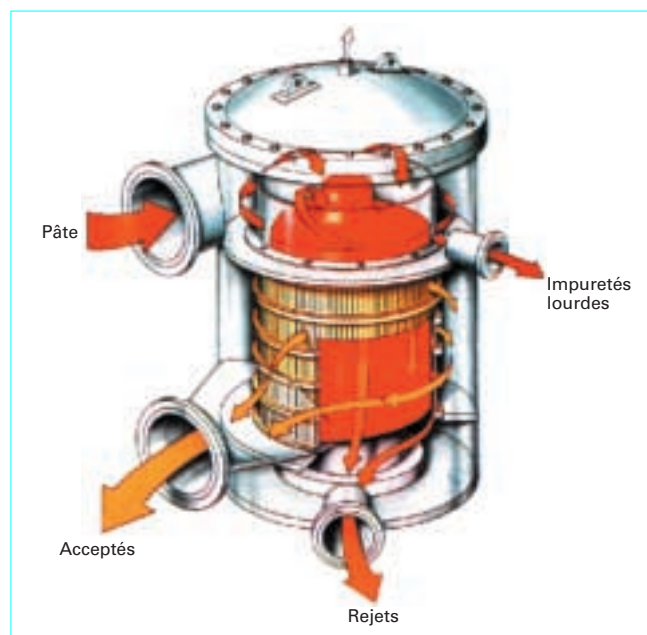


Figure 5 – Schéma d'un classeur sous pression (d'après Voith)

un tamis spécial, en général des tamis vibrants (classeurs non pressurisés avec trous de 2 à 3 mm de diamètre). Les refus de ce tamis vont à la station d'épuration et les acceptés sont traités par le récupérateur de fibres des eaux blanches (voir § 5.2).

Le diamètre des trous utilisés dans l'épuration fine en tête de machine est de 1,3 à 2,5 mm. La largeur des fentes varie entre 0,3 et 0,6 mm. Les concentrations de travail sont de 0,5 à 1 %.

Ces classeurs sous pression sont également utilisés dans les chaînes de traitement des fibres recyclées, en pré-épuration de la pâte épaisse (classeurs à trous en général), en sortie de pulpeur.

5. Circuits de tête de machine

- On peut distinguer trois types de circuits :
- les circuits de pâte en tête de machine ;
 - les circuits d'eaux ;
 - les circuits de cassés.

5.1 Circuits de pâte en tête de machine

Les balles de pâtes marchandes sont introduites au pulpeur pour désintégration (voir § 1). La pâte est ensuite stockée dans un cuvier, après dilution, puis raffinée (voir § 2) et à nouveau stockée dans une capacité. La suspension ainsi préparée est prête à être mélangée, si nécessaire, aux autres types de pâtes (pâtes mécaniques, fibres recyclées, pâte de cassés) provenant des lignes de préparation correspondantes. Le mélange peut s'effectuer dans un nouveau cuvier spécial (cuvier de mélange) où sont éventuellement ajoutés les charges dans la masse, les colorants, les produits de collage et certains additifs (voir § 3). Ces produits peuvent être introduits en différents endroits du circuit (au pulpeur, avant raffinage, après raffinage, avant épuration, etc.). De même, la pâte de cassés peut être à nouveau raffinée ou non.

La composition est ensuite envoyée au « château de pâte », qui est un cuvier à débordement. L'excédent retourne dans le cuvier de mélange. La pâte est ensuite pompée du château de pâte vers le premier étage des épurateurs centrifuges (voir § 4). Une vanne de régulation (vanne de poids), placée en aval du château de pâte, permet de contrôler le débit de pâte envoyée à la machine et donc le grammage du papier. Une dilution avec des eaux collées provenant de la fosse sous toile est réalisée, à l'aspiration de la pompe (pompe de mélange), à l'entrée des épurateurs. Les acceptés du premier étage d'épuration cyclonique alimentent, après dilution, le premier étage des classeurs sous pression. Les acceptés du premier étage de classeurs sous pression, sont envoyés à la caisse de tête. Le retour de caisse de tête est admis à l'entrée du premier étage de classeurs sous pression.

Les différents circuits de pâtes dans les étages d'épuration tourbillonnaire et de classeurs sous pression ont été décrits dans le paragraphe 4.

Enfin, un traitement de désaération est parfois nécessaire pour éliminer l'air dans la pâte, incompatible avec une bonne formation de feuille.

5.2 Circuits d'eaux

On distingue habituellement deux types de circuits d'eaux autour de la machine à papier :

- le circuit court (ou primaire) ;
- le circuit long (ou secondaire) ;

et plusieurs catégories d'eaux (par niveau de concentration en fibres décroissant).

– **Les eaux collées** : il s'agit des eaux recueillies sous la toile de fabrication, provenant des premiers organes d'égouttage, lors de la formation de la feuille (pontuseaux, foils). Ces eaux, riches en fibres et en charges sont recueillies, dans une capacité dite « fosse sous toile », puis réutilisées pour la dilution de la pâte avant chaque étage d'épuration tourbillonnaire et de classeurs sous pression (circuit court).

– **Les eaux blanches** : elles sont issues des autres organes d'égouttage de la toile (caisses aspirantes, cylindre aspirant) et du débordement de la fosse sous toile. Ces eaux, qui sont moins chargées en fibres servent le plus souvent à diluer les différents cassés de fabrication.

– **Les eaux clarifiées** : elles sont le résultat de la filtration des eaux blanches en excès traitées dans un récupérateur de fibres

(décanteur, filtre à disque, etc.). Cet appareil a pour fonction de séparer les fibres contenues dans les eaux blanches. Ces fibres ainsi récupérées sont ensuite recyclées dans le circuit des cassés. Les filtrats obtenus (eaux clarifiées) additionnés des eaux de la section des presses servent à la dilution au niveau du pulpeur et avant raffinage (circuit secondaire). Les excédents d'eaux clarifiées partent à la station de traitement des eaux.

– **Les eaux fraîches** : ces eaux proviennent de la station de traitement des eaux brutes ou de la station d'épuration. Elles servent principalement à la dilution des additifs, au rinçage de la toile de formation et des feutres de presses et interviennent en appoint pour la régulation des niveaux des différents cuiviers, en cas de déficit d'eaux blanches pendant les transitoires (casses, démarrages).

– **Les eaux brutes** : ces eaux prises sur le réseau extérieur sont traitées avant utilisation sur machine (eaux fraîches).

Le circuit primaire concerne donc la recirculation des eaux collées, pour la dilution de la pâte avant épurations (figures 7 et 8).

Le circuit secondaire utilise les eaux clarifiées pour la dilution de la pâte au pulpeur et avant raffinage (figures 6 et 8).

5.3 Circuits de cassés

Les risques de **rupture de feuille** (casses) sont fréquents en cours de fabrication. En fonction du lieu où intervient cette casse, les morceaux de feuille, humides ou non, couchés ou non (cassés) sont récupérés en continu dans des cuiviers spéciaux situés sous la machine : cassés avant les presses, cassés pré-sécherie, cassés post-sécherie, cassés couchés, cassés enrouleuse, etc. Les cassés humides (avant la section des presses) sont parfois épaissis dans des presses à vis ou des épaisseuriers. Les filtrats rejoignent le plus souvent les eaux blanches. Les rognures humides (bords de feuille éliminés en continu) sont recyclés de la même manière.

Les cassés non couchés ne contiennent que des charges dans la masse. En revanche, les cassés couchés, avec leurs pigments de couchage et leurs liants synthétiques peuvent perturber le fonctionnement de la partie humide (système de rétention) ou occasionner des dépôts (« white pitch »). Leur réintroduction doit être particulièrement surveillée.

Tous ces cassés sont dilués avec des eaux blanches, épurés (en général avec des classeurs) et réintroduits en mélange avec les autres pâtes de la composition. Les bobines de papier déclassé en fin de machine sont également recyclées en fonction des besoins, avec les cassés enrouleuse.

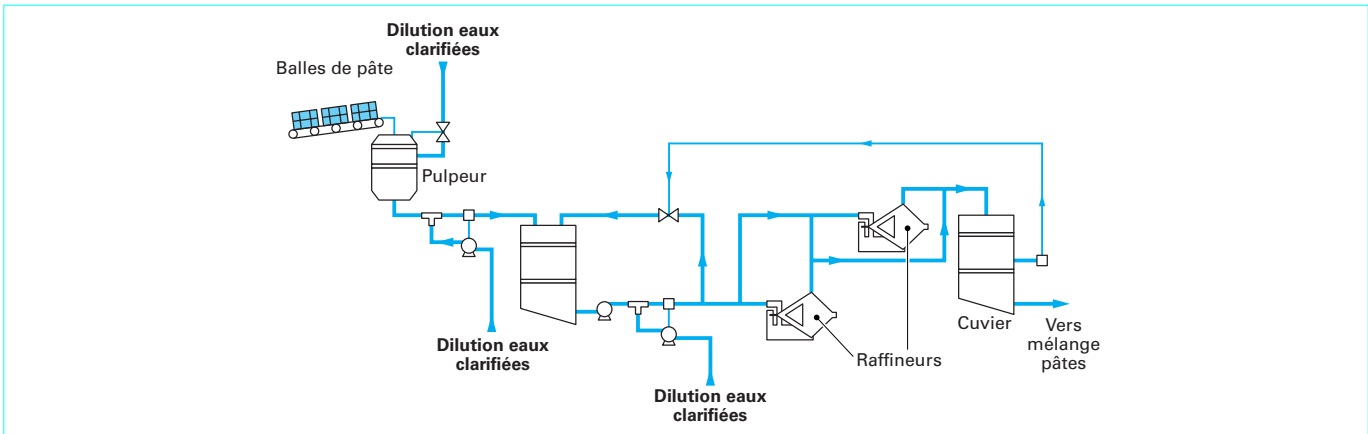


Figure 6 – Exemple d'un circuit de préparation de pâte chimique : pulpage, dilution avec eaux clarifiées et raffinage (doc. CTP – J. Ruiz, P. Ottenio)

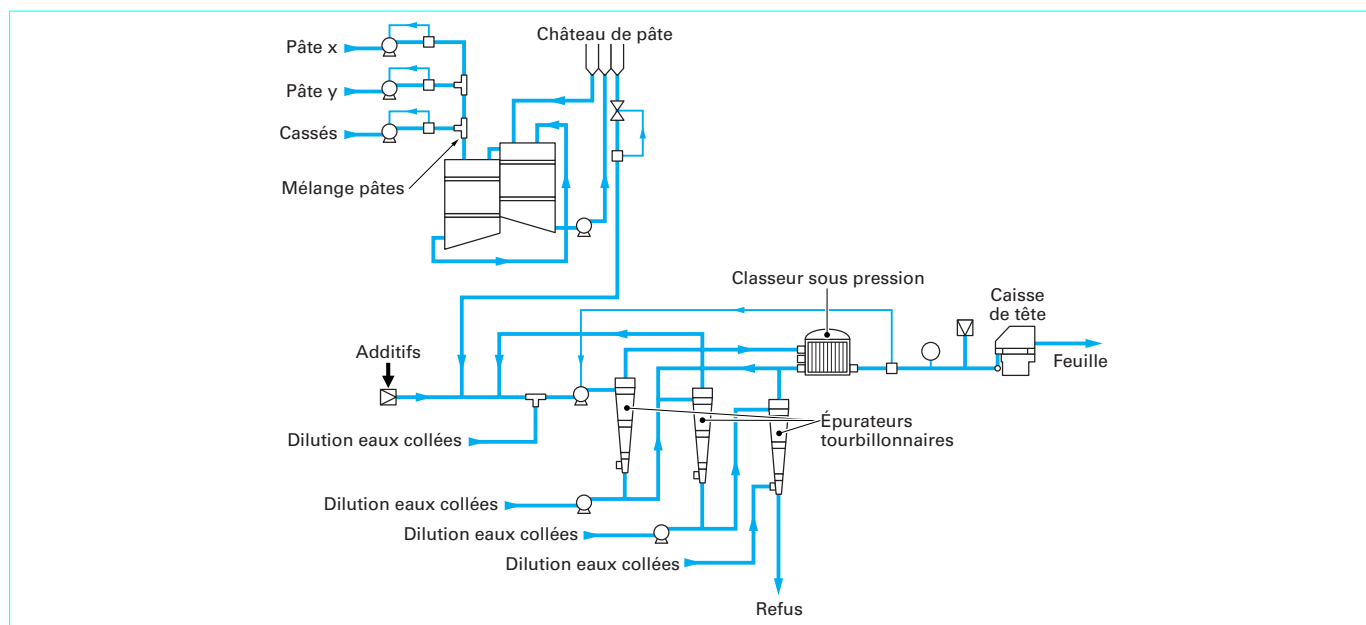


Figure 7 – Exemple d'un circuit de préparation de pâte chimique : mélange des pâtes, additifs, dilution avec eaux collées et épurations tête de machine (doc. CTP – J. Ruiz, P. Ottenio)

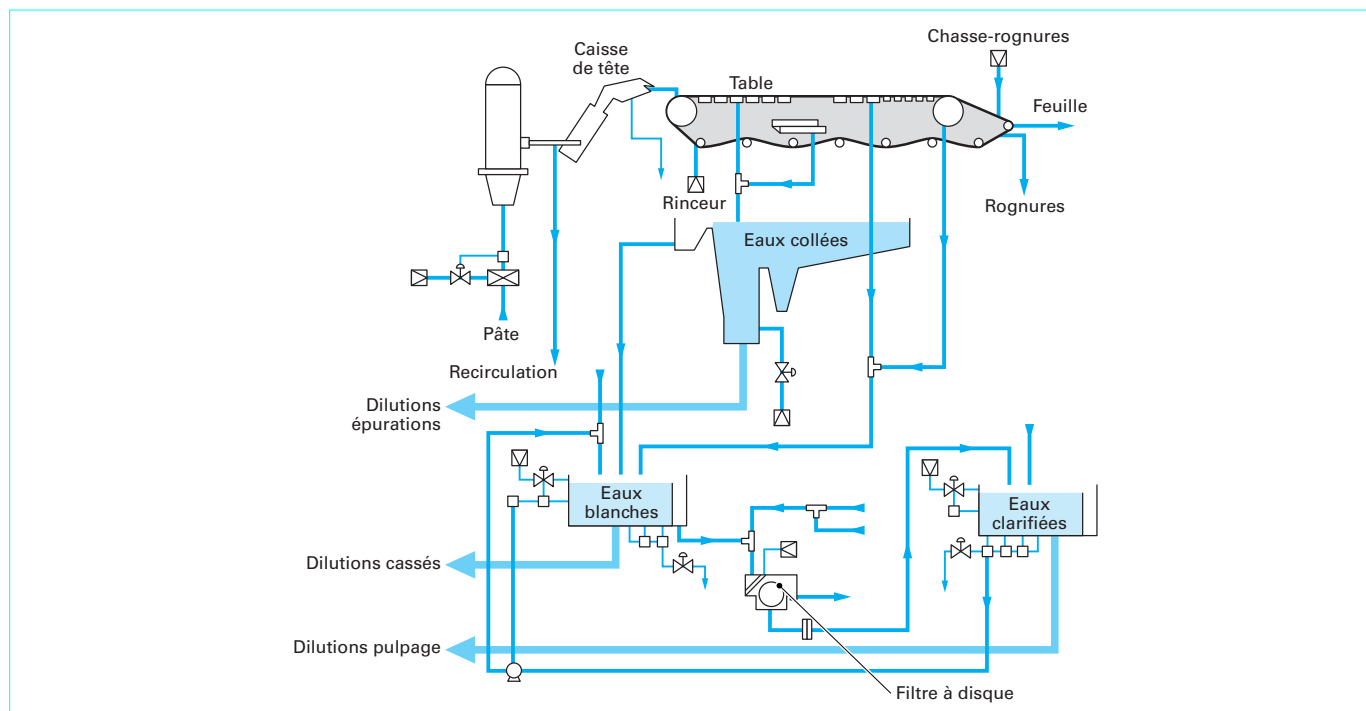


Figure 8 – Exemple du principe d'un circuit de partie humide : eaux collées, eaux blanches et eaux clarifiées (doc. CTP – J. Ruiz, P. Ottenio)