

Fermeture des circuits dans un procédé de désencrage: analyse et simulation

PAR E. SAVU, S. SARRAILH, F. MARÉCHAL, J. PARIS

Abstract: On a développé six stratégies de réduction de la consommation d'eau fraîche dans un atelier de désencrage de vieux papiers par la réutilisation de l'eau blanche excédentaire d'un atelier de papier voisin. Pour réaliser l'étude, on a établi et validé une simulation détaillée de l'atelier en régime permanent sur plate-forme WINGEMS. La réconciliation des données a été effectuée à l'aide du logiciel VALI III. L'implantation des stratégies permettrait de réaliser des économies d'eau fraîche allant de 15 à 70 % de la consommation du cas de base et s'accompagnerait d'une augmentation de MDT dans la pâte désencrée sans doute tolérable dans la plupart des cas.

L'OBJECTIF DE CE travail était d'établir un modèle validé d'une usine de désencrage située au Québec. La validation a été effectuée par réconciliation à l'aide du logiciel VALI III développé par la compagnie Belsim S.A. et mis à disposition pendant un stage au Laboratoire d'analyse et de synthèse des systèmes chimiques (LASSC) de l'Université de Liège. Ce modèle a ensuite été utilisé pour développer et évaluer plusieurs stratégies de fermeture de circuits d'eau de l'atelier.

L'ATELIER DE DÉSENCRAGE

Le procédé est composé d'une boucle alcaline et d'une boucle acide en séquence totalement cloisonnée pour éviter l'interférence de recyclages internes avec le contrôle du pH (Fig. 1). Le milieu alcalin évite la fragmentation de la cellulose et des particules d'encre dans le triturateur et favorise l'action du floculant ajouté dans les cellules de flottation. Le milieu acide favorise la fragmentation des particules d'encre résiduelles et la dissolution des solides organiques ou inorganiques, augmentant de la sorte l'efficacité du lavage de la pâte. La modélisation a été réalisée pour une capacité de 150 t/d de pâte désencrée sur base sèche. Environ les tiers des fibres secondaires nécessaires à l'atelier (70% journaux et 30% magazines) étaient recueillis au Québec et le reste provenait des Etats-Unis. Le procédé consomme 14 m³ d'eau fraîche et 9,3 m³ d'eau blanche provenant de l'atelier de papier situé sur le même site par tonne de pâte désencrée produite. L'eau fraîche est utilisée pour le remplissage du triturateur et le contrôle de niveau des cuiviers d'eau alcaline et du cuvier d'eau blanche clarifiée. Les principaux effluents sont les mousses des cellules de flottation et les boues du clarificateur. Le rendement en matières de l'atelier est 78%; la pâte désencrée produite a une consistance de 4,40% et une teneur en matières dissoutes totales de 2 600 ppm.

Boucle alcaline

Les vieux journaux et magazines sont mélangés avec de l'hydroxyde de sodium, du silicate de sodium et de l'eau dans le triturateur. La trituration dure environ 10 minutes, à 12% de consistance et 50°C. Cette pâte primaire est ensuite di-

luée, débarrassée des corps étrangers qu'elle contient par passage sur un tamis grossier puis dans une série de tamis à trous et de tamis à rainures. Entre les étapes de tamisage, elle est mise au repos dans un cuvier de latence. Elle est ensuite traitée dans les cellules de flottation où l'injection d'air sous pression et la présence de surfactants provoquent la montée des particules d'encre et la formation de mousse en surface. Cette mousse est aspirée et dirigée vers le traitement des eaux usées. À la sortie des cellules, la pâte partiellement désencrée est épaissie dans un filtre à disques et une presse à bande avant le traitement en milieu acide. Les filtrats du filtre à disques et de la presse à bande sont récupérés et réutilisés pour la dilution dans la boucle alcaline.

Boucle acide

La pâte épaissie provenant de la boucle alcaline est diluée avec de l'eau blanche acide et envoyée vers des épurateurs. Les acceptés des épurateurs sont dirigés vers des tamis à rainures fines et des épurateurs inverses permettant la séparation des contaminants de faible densité. La pâte est alors épaissie par des laveurs et des draineurs à vis avant d'être stockée dans le cuvier de haute concentration en vue de son utilisation dans les machines à papiers. Les filtrats des laveurs sont clarifiés et réutilisés dans la boucle acide pour la dilution. Les filtrats des draineurs sont directement recirculés vers les épurateurs.

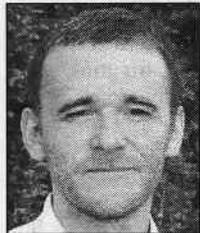
COLLECTE DES DONNÉES ET DÉVELOPPEMENT DE LA SIMULATION

Les données nécessaires à l'établissement d'une simulation complète et détaillée des réseaux de pâte et d'eaux ont été tirées d'études antérieures [1,2]. Le modèle de simulation a été développé à l'aide du logiciel VALI III [3] qui permet d'effectuer la réconciliation des mesures. Ce logiciel permet de représenter un procédé de manière modulaire mais de résoudre le problème par résolution simultanée d'équations. Chaque module introduit automatiquement l'ensemble des bilans de matière et, le cas échéant, d'énergie. Un outil de programmation permet d'ajouter des équations de performances spécifiques aux équations de bilans générées automatiquement pour les unités opératoires à modéliser. Le modèle de sim-



E. SAVU

Département de génie chimique, École Polytechnique, Montréal, QC



F. MARÉCHAL

Laboratoire d'énergétique Industrielle, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, CH-1015 Lausanne, Suisse



J. PARIS

Département de génie chimique, École Polytechnique, Montréal, QC

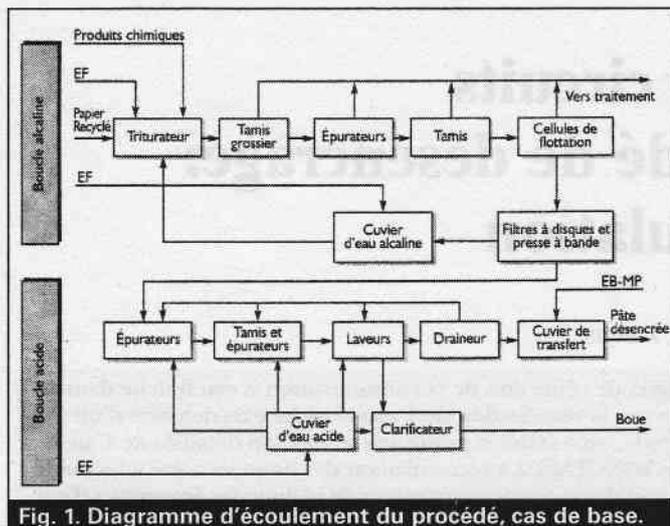


Fig. 1. Diagramme d'écoulement du procédé, cas de base.

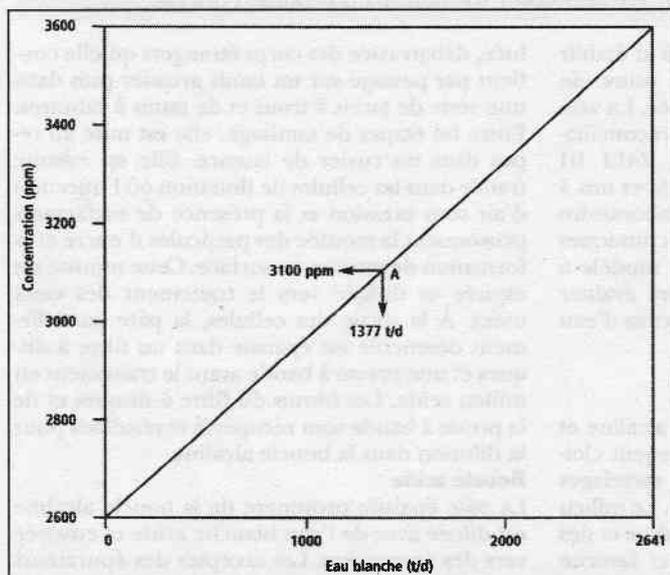


FIG. 3. Augmentation de la concentration en matières dissoutes dans la pâte désencrée en fonction du taux de substitution d'eau blanche (stratégie 1).

ulation développé tient compte des constituants principaux, soit: eau, matières en suspension et solides dissous totaux. Le procédé étant pratiquement isotherme, sauf à l'étape de trituration, les bilans d'énergie n'ont pas été considérés dans le modèle. Les hypothèses suivantes ont été posées: la quantité de matière en suspension dans la pâte est donnée par la consistance; à partir des cellules de flottation la matière solide est essentiellement constituée de fibres; les matières dissoutes (MDT) se répartissent à chaque étape du procédé comme l'eau; il n'y a pas de transfert de matière entre la phase aqueuse et la phase solide par précipitation, dissolution, adsorption ou absorption; il n'y a pas de réactions chimiques dans le système.

Grâce à ces hypothèses, toutes les opérations du procédé peuvent être modélisées par une séquence de mélanges puis de séparations de la phase aqueuse et de la phase solide. Le module BBXVAL de VALI III dont les caractéristiques sont représentées à la figure 2 a été utilisé dans tous les cas. Celui-ci forme automatiquement les équations de bilans de matière et d'énergie. Dans ce modèle, les coefficients de partage ont été introduits à l'aide du langage de programmation de VALI III par le module FLXVAL. Les coefficients de partage sont traités comme des variables du problème. Ceux-ci définissent le taux de répartition entre les flux B et C (figure 2), le bilan de matière pour chaque

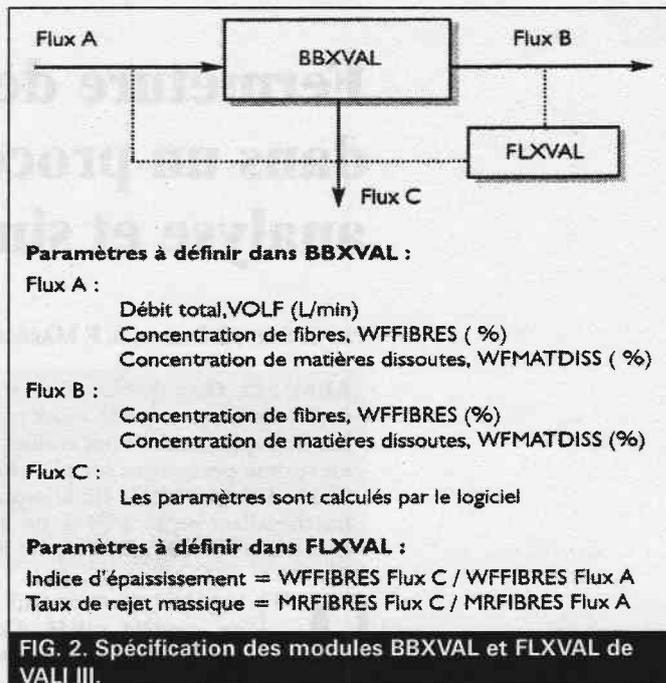


FIG. 2. Spécification des modules BBXVAL et FLXVAL de VALI III.

constituant fixera ensuite le second degré de liberté. En utilisant la versatilité de la résolution simultanée d'équations, il est possible de passer aisément d'un mode d'identification paramétrique ou de réconciliation des mesures (pour le calcul des taux de séparation sur la base d'un ensemble de mesures) à un mode de simulation (calculs des flux pour un taux fixé) sans avoir à changer la séquence de résolution. Bien que le logiciel VALI III n'ait pas été conçu spécifiquement pour la simulation de procédés papetiers, il a été utilisé dans ce travail aux fins de réconciliation des données et de simulation. La simulation validée sur la base de données réconciliées a été transférée au logiciel papetier WinGEMS pour les besoins d'analyses plus détaillées ultérieures en utilisant les modules de simulation spécifiques aux procédés papetiers. Le modèle de simulation permettait de représenter le procédé dans sa configuration initiale ou en circuit totalement ouvert. C'est à partir de cette configuration qu'on a cherché à identifier des stratégies de fermeture. La distribution des fines, fibres, MDT, cendres et certains ions pour chaque stratégie en régime permanent a été déterminée par simulation.

RÉCONCILIATION DES DONNÉES ET VALIDATION DE LA SIMULATION

Lorsque des mesures expérimentales sont réalisées dans un procédé en opération, elles sont toujours entachées d'erreurs: il est donc souvent difficile, voire impossible, d'établir un bilan cohérent sur la base de ces mesures brutes. La procédure de réconciliation des données par rapport aux bilans de masse et d'énergie permet d'apporter à chaque mesure une correction minimale au sens des moindres carrés, telle que les mesures validées deviennent cohérentes par rapport à un ensemble de contraintes (conservation de la matière, de l'énergie, équilibre de phases, etc.). S'il est possible d'augmenter la précision des mesures en les répétant de plusieurs manières indépendantes, la cohérence des mesures ne peut être garantie que si elles présentent une certaine redondance. On définit la redondance par le fait qu'il est possible de recalculer la valeur d'une mesure en utilisant la valeur des autres mesures et l'ensemble des contraintes physiques selon un processus dit de vérifications croisées [4,5]. Le logiciel VALI III utilise les équations de contrainte pour recalculer la valeur de variables telles que les débits volumiques, la consistance, les compositions ou l'énergie en fonction des variables d'état du système à savoir les débits molaires

TABLEAU I. Résultats de la réconciliation.

Source	Utilisation	Débit total (t/d)	
		Valeur ajustée	Valeur réconciliée
Eau fraîche	Appoint au tritrateur	420	425
	Appoint au cuvier d'eau alcaline claire	435	436
	Appoint au cuvier d'eau acide claire	2446	2215
Courants internes	Rinceurs du filtre à disques	3478	3478
	Rinceurs de la presse à bandes	870	870
	Cellule de flottation 1	9565	9613
	Tamis secondaire à rainures	8623	8740
	Tamis secondaire à trous	616	619
	Épurateur à haute densité	326	333
	Tamis grossier et tritrateur	4138	4130
	Cuvier à haute consistance	435	439
	Épurateurs inverses secondaires	1855	1855
	Tamis secondaire à rainures fines	3333	3423
	Épurateurs primaires	4145	4260
Eau blanche de la MP	Cuvier de transfert	2246	1829

TABLEAU II. Comparaisons des stratégies élaborées.

Stratégie	Eau fraîche consommée (t/d)			Économie d'eau fraîche (%)	Teneur en MDT de la pâte (ppm) ^(b)
	Tritrateur	Cuvier d'eau alcaline ^(a)	Cuvier d'eau acide ^(a)		
Base	425	436	2215	0	2600
1 ^(c)	425	217	1162	45	3100
2	425	436	2215	0	2600
3	0	436	2215	14	2790
4	425	436	1304	30	2969
5a	425	0	2215	14	2703
5b	425	436	0	72	3493
6a	0	0	1636	47	3100
6b	0	0	1304	58	3262

Notes: EB-MP: Eau blanche disponible à la machine; MDT: Matière dissoute totale.

(a) Au point d'injection alternatif pour les stratégies 2, 4 et 6b

(b) Pâte désencrée produite à 4.40% de consistance

(c) Point opératoire A (figure 3), taux de substitution égal dans les deux cuiviers

partiels, la température et la pression. Le logiciel introduit également des équations de liaison, qui expriment la relation entre les variables d'état et les variables mesurées [3]. En ce qui concerne les appareils, on procède comme pour un problème de simulation. Ils sont reliés par des flux qui représentent des états associés à des courants de matière. Les modèles thermodynamiques et la représentation des espèces sont identiques pour la simulation et la validation. L'analyse de la matrice d'incidence réalisée par le logiciel VALI III permet dans un premier temps d'analyser l'information disponible sur la base des mesures et d'identifier l'information manquante (mesures à faire). Dans une seconde étape, le logiciel permet de calculer la valeur la plus probable pour l'ensemble des mesures et donc de calculer les corrections à apporter aux mesures

compte tenu de leur précision et de la satisfaction des bilans. L'intérêt du logiciel VALI III est de pouvoir ensuite traiter de manière simultanée l'ensemble des redondances d'un système, de réaliser une analyse de cette redondance permettant de donner pour chaque mesure le niveau de redondance (le nombre de mesures qui permettent de corriger sa valeur) et de calculer, pour chaque jeu de mesures, l'ensemble des variables d'état du système et les corrections à apporter aux mesures compte tenu de leur précision. Le logiciel permet ensuite de calculer la précision à posteriori des mesures i.e., la précision de la mesure à partir du complément d'information apporté par la redondance du système de mesure. Le logiciel VALI III utilise une formulation de résolution simultanée d'équations, ce qui en permet l'utilisation aisée dans différents modes.

Dans le cas traité, le même modèle a été utilisé pour réconcilier les données, identifier les paramètres de simulation, valider le modèle de simulation et modéliser les diverses stratégies de fermeture des circuits. En général, ces opérations doivent être effectuées avec des logiciels différents; le transfert des données peut être difficile, ce qui alourdit la procédure et surtout augmente les risques d'erreurs et d'incohérences. Cette particularité originale du logiciel VALI III lui confère donc un avantage certain. Le processus comporte deux étapes.

- Établir une simulation avec les données disponibles qui, dans le cas présent, venaient d'études antérieures [1, 2]. Les simulations avaient été ajustées selon la méthode habituelle par observation et tâtonnement, sans recours à une méthode systématique et informatisée, un procédé très laborieux dans le cas de simulations complexes.

- Les données incompatibles avec les équations de bilan sont repérées et ajustées en séquence jusqu'à ce que toutes les équations de bilan soient satisfaites, la simulation est alors considérée comme validée.

Le tableau 1 donne les valeurs ajustées par observation et tâtonnement et les valeurs réconciliées des principaux débits. On peut en conclure que les données ajustées par observation et tâtonnement étaient raisonnablement bonnes; néanmoins des ajustements additionnels ont été faits dans la plupart des cas. Ces ajustements étaient de l'ordre de quelques pourcents. Deux exceptions notables et importantes dans le contexte de l'étude sont les corrections apportées à l'appoint d'eau fraîche au cuvier d'eau acide claire (-10%) et à l'appoint d'eau blanche au cuvier de transfert (-18%). Ces résultats soulignent la supériorité de la réconciliation systématique des données par rapport à la méthode par observation. Dans le cas présenté, on aurait clairement obtenu des résultats supérieurs et à moindre coût, eut-on effectué la réconciliation des données en début du processus d'analyse.

STRATÉGIES DE FERMETURE

Le modèle de simulation a ensuite été utilisé pour évaluer différentes stratégies de fermeture des circuits. On a utilisé pour l'analyse les données réconciliées. La consommation totale d'eau fraîche dans le cas de base (procédé original) est alors de 3076 t/d; elle se répartit de la manière suivante:

- dans la boucle alcaline 425 t/d d'eau fraîche sont rajoutées au tritrateur et 436 t/d d'eau fraîche au cuvier de réserve d'eau claire;
- dans la boucle acide 2 215 t/d d'eau fraîche sont rajoutées au cuvier de réserve d'eau acide claire.

L'excès d'eau blanche disponible à la machine, compte tenu de l'utilisation déjà

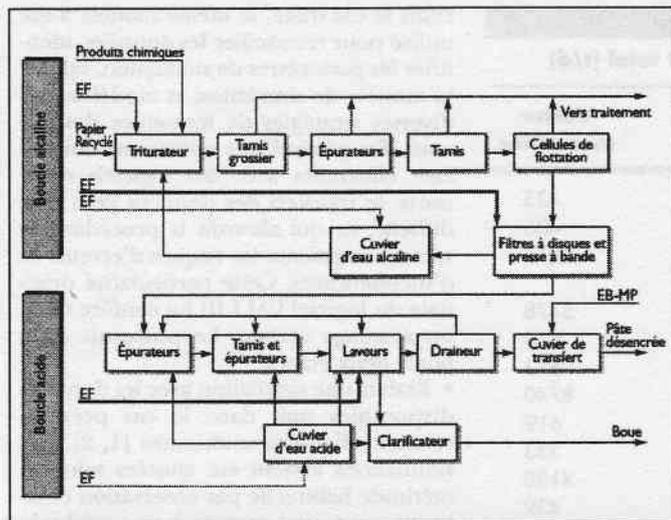


Fig. 4. Stratégie 2, nouvelle configuration du procédé en circuit fermé.

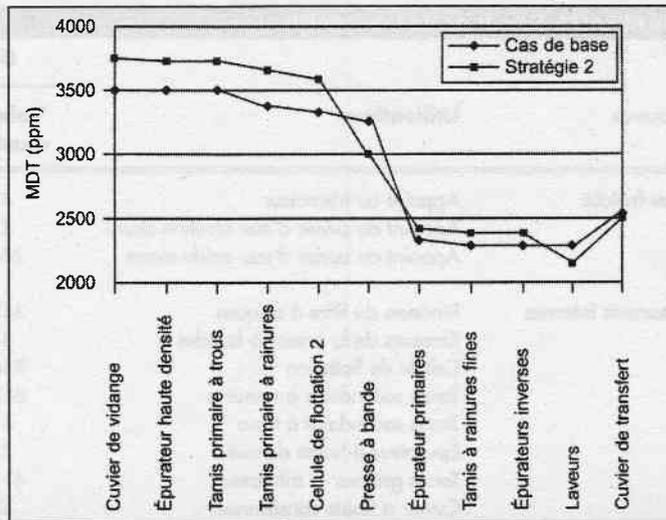


Fig. 5. Impact de la stratégie 2 sur la distribution de matières dissoutes totales dans la zone des laveurs (d'après [1]).

TABLEAU III. Bilan de matière sur le triturateur.

	Cas de base		Stratégie 3	
	Débit total (t/d)	MDT (t/d)	Débit total (t/d)	MDT (t/d)
Papier recyclé	211	2.82	211	2.82
Eau fraîche	425	~0	0	—
EB du cuvier d'eau alcaline	4103	13.05	4103	13.05
EB de la MP	0	—	425	1.27
Pâte retriturée	4739	15.87	4692	17.14

faite dans le cas de base selon le tableau 1, est de 5072 t/d. C'est une eau blanche riche dont la concentration en MDT est de 3000 ppm et la consistance de 0.18%.

Cinq stratégies différentes ont été retenues. Une sixième stratégie faisant la synthèse d'éléments combinables de ces stratégies de façon à maximiser l'économie d'eau tout en maintenant la concentration des MDT dans la pâte désencrée à un niveau sécuritaire, a aussi été élaborée. Les résultats clés sont résumés dans le tableau 2.

Stratégie 1: Utilisation partielle d'eau blanche aux cuiviers d'eau claire. Cette stratégie a pour but de gérer un équilibre entre la substitution directe d'eau blanche de la machine à l'eau fraîche d'appoint aux deux cuiviers de réserve et l'augmentation résultante de matières dissoutes dans la pâte désencrée. En raison des hypothèses faites sur le comportement des matières dissoutes l'augmentation de concentration est proportionnelle au taux de substitution par de l'eau blanche. Les résultats pour le procédé étudié sont présentés à la figure 3. Si on choisi comme point d'opération le point A qui correspond à une augmentation en matière dissoute totale dans la pâte de 2600 à 3100 ppm, cette substitution se répercuterait par une augmentation de MDT inférieure à 10% dans la caisse d'arrivée d'une machine utilisant une pâte à 35% de fibres désen-

crées. Une telle variation serait inférieure à la variabilité de conditions opératoires d'une machine et à fortiori à la variabilité entre machines [6]. Ceci peut être accompli par l'utilisation de 1377 t/d d'eau blanche à ces deux cuiviers soit une réduction de la consommation totale d'eau fraîche de 45%. On pourrait envisager un taux de substitution plus élevé à condition de le faire par étapes successives et en faisant un suivi serré du procédé.

Stratégie 2: Relocalisation de l'alimentation en eau fraîche. Cette stratégie vise à utiliser de l'eau fraîche à des endroits plus stratégiques soit les rinçeurs de la presse à bandes et les douches des laveurs, plutôt qu'aux cuiviers. Dans les deux cas l'apport pourrait permettre un lavage plus efficace, éviter l'obstruction des rinçeurs et des gicleurs de douches sans augmenter la concentration des matières dissoutes dans la pâte ni la consommation d'eau fraîche. Le diagramme d'écoulement de cette stratégie est présenté à la figure 4 et l'impact correspondant sur la distribution de matière dissoute dans la zone des laveurs est illustré à la figure 5. On constate effectivement une hausse de matières dissoutes dans la partie aval de cette zone mais une baisse sensible de (3200 à 3000 ppm) dans les courants de pâte et de filtrat résultants; une baisse plus légère est observée au niveau des laveurs (2250 à 2150 ppm). La concentration en MDT de la pâte pro-

duite demeure inchangée. Ces résultats doivent néanmoins être tempérés à la lumière de l'hypothèse faite sur le comportement des MDT soit, qu'elles se répartissent dans tous les équipements comme la phase aqueuse. Crotagino et al [7] ont montré que cette hypothèse n'est pas toujours vérifiée, notamment dans le cas de pressage d'une pâte à faible teneur en MDT. Cette stratégie qui ne se traduit par aucune économie nette d'eau fraîche peut être utilisée en conjonction avec une autre stratégie pour compenser un effet négatif sur le lavage ou pour augmenter la robustesse du procédé (i.e. sa capacité d'absorber des fluctuations).

Stratégie 3: Utilisation intégrale d'eau blanche au triturateur. Le bilan de matière sur le triturateur est donné au tableau 3; le cas de base correspond au diagramme de la figure 1. Cette stratégie consiste à remplacer l'apport d'eau fraîche par de l'eau blanche de la machine à papier, réalisant ainsi une économie d'eau fraîche de 425 t/d. Cette substitution augmente évidemment la concentration de MDT dans le triturateur mais cette augmentation est assez faible puisque l'apport d'eau fraîche ne représente qu'environ 10% de l'eau de trituration. Comme la teneur en matière dissoute est inférieure à celle de l'eau blanche du cuvier d'eau alcaline (3000 ppm contre 3180 ppm), l'effet global sur la concentration en MDT dans le triturateur est inférieur à 10% (la teneur en MDT passe de 3494 ppm à 3750); l'effet sur la concentration de MDT dans la pâte désencrée est proportionnel soit une augmentation de 2600 ppm à 2790. Cette stratégie est donc une façon simple de réduire la consommation d'eau fraîche qui ne devrait pas avoir d'effet notable sur le procédé ni sur la qualité de la pâte produite.

Stratégie 4: Reconfiguration de la boucle acide. Cette stratégie est une variante de la stratégie 2 qui permet d'en maintenir les

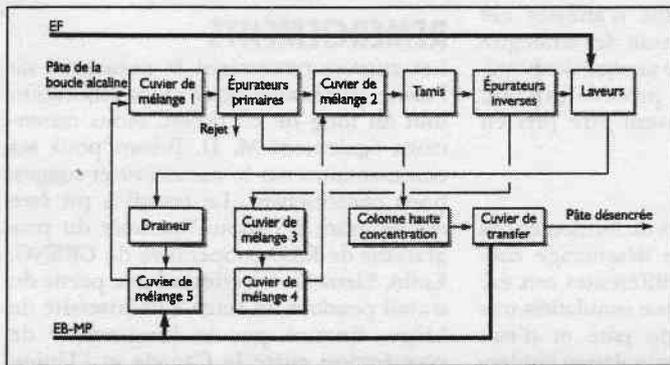


Fig. 6. Stratégie 4, nouvelle configuration de la boucle acide (diagramme détaillé).

avantages dans une grande mesure (utilisation d'eau fraîche aux points critiques) tout en effectuant une économie d'eau appréciable dans la boucle acide. À cette fin, on réduit la quantité d'eau fraîche utilisée par la boucle acide à la quantité minimale d'eau nécessaire aux douches des laveurs (1304 t/d) et tous les autres appoints d'eau fraîche sont remplacés par de l'eau blanche de la machine. Cette stratégie nécessite un certain réarrangement des circuits de cette boucle illustré à la figure 6. L'économie d'eau fraîche est de 911 t/d, ce qui entraîne une augmentation des matières dissoutes dans la pâte désencrée de 329 ppm.

Stratégie 5: Utilisation intégrale d'eau blanche à l'un des deux cuiviers d'eau claire (alcaline ou acide). La stratégie 1 propose le remplacement partiel de l'apport d'eau fraîche aux cuiviers d'eau claire par de l'eau blanche de la machine mais toujours dans la même proportion (i.e. le point d'opération A de la figure 3 correspond à un taux de substitution de 50% dans chaque cuvier). Cette stratégie a l'avantage de la flexibilité puisqu'elle permet d'ajuster les taux de substitution individuellement en fonction des perturbations pouvant affecter l'une ou l'autre boucle ou en conjonction avec une stratégie de contrôle. Il est toutefois intéressant d'envisager une alternative à la stratégie 1, soit la substitution totale de l'eau fraîche par de l'eau blanche de la machine dans l'un ou dans l'autre des cuiviers. Ces deux possibilités constituent les stratégies 5a et 5b résumées ci-dessous et reprises au tableau 2.

- **Stratégie 5a:** boucle alcaline. Dans ce cas, la quantité d'eau fraîche économisée est de 436 t/d et l'augmentation des MDT dans la pâte désencrée est évaluée à 103 ppm.
- **Stratégie 5b:** boucle acide. La quantité d'eau fraîche économisée est ici beaucoup plus importante (2215 t/d) mais il en va évidemment de même de l'augmentation des MDT dans la pâte désencrée qui est de 897 ppm.

Ces résultats montrent que l'utilisation d'eau blanche dans la boucle alcaline a un impact unitaire sur la concentration des MDT dans la pâte désencrée bien moindre que dans la boucle acide. L'impact dans la boucle alcaline de 0.24 ppm de MDT pour chaque tonne d'eau blanche substituée à de l'eau fraîche alors qu'il est de 0.40 ppm dans la boucle alcaline. Une comparaison des stratégies 1 et 4 conduit à la même conclusion. Cette réduction d'impact est due à l'effet de purge effectué par les opérations d'épaississement en fin de boucle alcaline et d'épuration en début de boucle acide. Il n'y a pas d'effet de purge d'amplitude comparable en fin de boucle alcaline. Cet effet est illustré par les profils de concentration de la figure 7. On doit tenir compte dans le choix de stratégies à implanter que l'eau extraite est conséquemment enrichie en MDT ce qui pourrait éventuellement affecter les systèmes de traitement des effluents.

Stratégie 6: Solution mixte optimale. Certaines des stratégies présentées ici sont compatibles; d'autres par contre sont mutuellement exclusives. On peut donc rechercher une combinaison optimale en fonction d'un critère donné par exemple, la con-

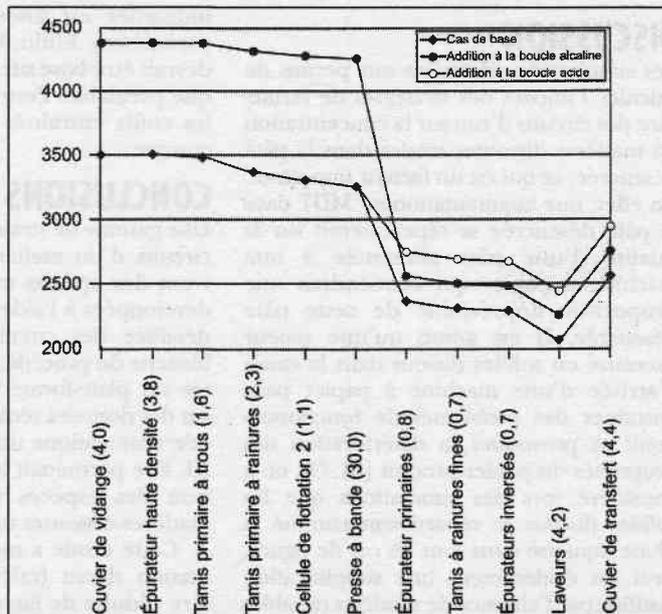


Fig. 7. Profil de distribution des matières dissoutes totales en fonction du point d'addition de l'eau blanche (d'après [1]); addition de 200 t/j d'EB de la machine à papier dans les deux cas.

centration maximale tolérable de matières dissoutes dans la pâte désencrée. Cette dernière stratégie combine les éléments des plus intéressants des stratégies précédentes en appliquant les critères ou contraintes suivantes:

- La concentration des MDT dans la pâte désencrée produite ne devra pas excéder 3100 ppm soit l'équivalent du point opératoire A (figure 3) pris comme référence.
- On privilégiera les substitutions d'eau blanche dans la boucle alcaline pour maximiser le taux de substitution possible à concentration constante de MDT dans la pâte désencrée.
- On envisagera l'amélioration du procédé de lavage en boucle alcaline par la reconfiguration du procédé.

La stratégie résultante (stratégie 6a) comporte alors les éléments suivants:

- Utilisation intégrale d'eau blanche de la machine au triturateur (stratégie 3). Ceci donne une économie d'eau fraîche de 425 t/d et une augmentation des MDT de 190 ppm.
- Utilisation intégrale d'eau blanche de la machine au cuvier d'eau alcaline claire (stratégie 5a). Ceci donne une économie d'eau de 436 t/d et une augmentation des MDT de 103 ppm.
- Reconfiguration de la boucle acide avec substitution partielle d'eau blanche de la machine (variante de stratégie 4). Pour compléter la concentration finale des MDT à 3100 on peut substituer 576 t/d d'eau de la machine dans la boucle acide ce qui maintient une quantité totale d'eau fraîche ajoutée à cette boucle de 1636 t/d dont 1304 t/d aux douches des laveurs.

Le résultat global de cette stratégie n'est que légèrement supérieur à celui de la stratégie 1, soit une économie d'eau fraîche totale de 1437 t/d vs 1379 t/d pour la stratégie 1, la concentration de MDT dans la pâte produite étant la même (3100 ppm). La stratégie 6a a sans doute un avantage du point de vue efficacité du lavage mais le choix entre ces deux stratégies pourrait dépendre d'autres facteurs plus importants tels que le coût et l'efficacité des diverses opérations de séparation.

Comme la stratégie 1, la stratégie 6 une fois implantée peut être amenée progressivement au niveau de substitution de la stratégie 4, soit 911 t/d d'eau blanche de la machine. Le résultat global (stratégie 6b) donne une économie totale d'eau fraîche de 1772 t/d, soit 58% de la consommation du cas de base, et une concentration de MDT dans la pâte désencrée de 3262 ppm, une concentration probablement tolérable dans la plupart des cas.



DISCUSSION

Les simulations effectuées ont permis de calculer l'impact des stratégies de fermeture des circuits d'eau sur la concentration en matières dissoutes totales dans la pâte désencrée, ce qui est un facteur important. En effet, une augmentation en MDT dans la pâte désencrée se répercuterait sur la qualité d'une pâte alimentée à une machine à papier qui contiendrait une proportion appréciable de cette pâte désencrée. Il est admis qu'une teneur excessive en solides dissous dans la caisse d'arrivée d'une machine à papier peut entraîner des problèmes de fonctionnement et provoquer la détérioration des propriétés du papier produit [6]. Or, on a considéré lors des simulations que les solides dissous se répartissent comme la phase aqueuse dans tous les cas de figure. Ceci est évidemment une simplification justifiée par l'absence de modèles capables de rendre compte du comportement réel des systèmes présents, qui sont d'une grande complexité. Néanmoins, les résultats obtenus restent bien en deçà des valeurs critiques couramment admises [8] et devraient avoir une valeur indicative fiable. On doit aussi noter le fait qu'une augmentation de MDT dans la pâte désencrée s'accompagne d'une augmentation parallèle dans les effluents du procédé. Le risque que le fonctionnement du système de traitement des effluents en soit affecté doit être pris en compte par un suivi approprié.

Par ailleurs, la substitution d'eau blanche acide à l'eau fraîche pourrait avoir des effets négatifs importants sur le procédé de désencrage lui-même, notamment sur la boucle alcaline dont le pH pourrait être sensiblement abaissé. Ces effets n'ont pas non plus été pris en compte dans les simulations, fautes de modèles chimiques adéquats dans l'état actuel des connaissances, tel que mentionné précédemment. Les opérations susceptibles d'être affectées par une baisse de pH dans la boucle alcaline sont principalement la trituration et la flottation. Au triturateur, l'abaissement de pH pourrait réduire l'efficacité des produits chimiques ajoutés et dont la fonction est de faciliter le détachement des particules d'encre et des contaminants de la surface des fibres [9]. De même, l'abaissement du pH combiné à l'augmentation de matière ionique dissoute pourrait réduire l'efficacité de séparation des cellules de flottation [10, 11].

Pour ces raisons, il est très important que les stratégies envisagées soient mises en œuvre par étapes progressives et que le procédé de désencrage fasse l'objet, à chaque étape, d'un suivi rigoureux notamment en ce qui concerne la concentration des solides dissous dans la pâte désencrée, le pH et l'efficacité des principales étapes de la boucle alcaline lorsque la stratégie

implantée est susceptible d'affecter ces paramètres. Enfin, le choix des stratégies devrait être basé sur une analyse économique préalable. Pour un procédé existant, les coûts entraînés doivent être pris en compte.

CONCLUSIONS

Une gamme de stratégies de fermeture des circuits d'un atelier de désencrage couvrant des options très différentes ont été développées à l'aide d'une simulation très détaillée des circuits de pâte et d'eau blanche du procédé. La simulation implantée sur plate-forme WINGENS était basée sur des données réconciliées par une méthode systématique utilisant le logiciel VALI III. Elle permettait le calcul de la distribution des espèces clés, fibres, fines et matières dissoutes totales dans les circuits.

Cette étude a montré que la consommation d'eau fraîche du procédé peut être réduite de façon très appréciable en utilisant de l'eau blanche disponible d'un atelier de papier voisin sans nécessairement créer une accumulation excessive de matières dissoutes totales dans les circuits et dans la pâte désencrée produite. Ces stratégies pourraient être avantageusement appliquées à des procédés dont la configuration est semblable à celle du procédé étudié (boucles alcaline et acide en séquence). Le choix des stratégies à considérer devrait tenir compte de la spécificité du procédé, du coût des changements nécessaires et des objectifs opératoires particuliers à l'usine.

La portée de l'étude est néanmoins limitée par le manque d'information quantitative sur certains impacts potentiels de l'augmentation des MDT dans les circuits et les lacunes des modèles actuellement disponibles. L'implantation des stratégies devrait donc être faite de façon graduelle et s'appuyer sur un suivi rigoureux du comportement du procédé concernant notamment, l'efficacité des diverses opérations de séparation, la consommation de produits chimiques, l'efficacité du système de traitement des boues et la qualité de la pâte produite.

Résumé: On a développé six stratégies de réduction de la consommation d'eau fraîche dans un atelier de désencrage de vieux papiers par la réutilisation de l'eau blanche excédentaire d'un atelier de papier voisin. Pour réaliser l'étude, on a établi et validé une simulation détaillée de l'atelier en régime permanent sur plate-forme WINGENS. La réconciliation des données a été effectuée à l'aide du logiciel VALI III. L'implantation des stratégies permettrait de réaliser des économies d'eau fraîche allant de 15 à 70% de la consommation du cas de base et s'accompagnerait d'une augmentation de MDT dans la pâte désencrée sans doute tolérable dans la plupart des cas.

Reference: PARIS, J., SAVU, E., SARRAILH, S., MARECHAL, F. *Pulp & Paper Canada* 105(2):T30-35 (February, 2004). Paper presented at the 6th Research Forum on Recycling in Magog, QC, on October 1-4, 2001. Not to be reproduced without permission of PAPTAC. Manuscript received on August 10, 2001. Revised manuscript approved for publication by the Review Panel on March 26, 2003.

Key words: DEINKING MILLS, CLOSED SYSTEMS, WATER CONSERVATION, WHITE WATER SYSTEM, SIMULATION.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le personnel de l'usine partenaire pour sa collaboration tout au long de ce projet. Nous remercions également M. D. Brown pour ses commentaires sur le manuscrit et suggestions constructives. Le travail a pu être réalisé grâce à l'appui financier du programme de R&D coopérative du CRSNG. Enfin, Elena Savu a effectué une partie du travail pendant un stage à l'Université de Liège, financé par le Programme de coopération entre le Canada et l'Union Européenne sur la mobilité des étudiants. Une version préliminaire de ce travail a été présentée au 6ième Forum de recherche sur le recyclage (Magog, QC, 2001).

RÉFÉRENCES

1. Walosik, S., «Gestion de l'eau dans le procédé de désencrage: problématique et étude de cas», Mémoire de M.Sc.A., École Polytechnique, Montréal (1999).
2. Bonhivers, J.-C., S. Belon-Gagnon et J. Paris, «Simulation dynamique de l'atelier de désencrage de l'usine Kruger à Bromptonville, Québec», Manuel de référence, École Polytechnique, Montréal (1998).
3. Belsim S.A., «Belsim Vali III User's Guide» (1999).
4. Romagnoli, J.A. and M.C. Sánchez, «Data processing and Reconciliation for Chemical Process Operations», Academic Press, NY (1998).
5. Heyen, G., F. Maréchal et B. Kalitventzeff, «Sensitivity Calculations and Variance Analysis in Plant Measurement Reconciliation», *Comp. Chem. Eng.*, 20 (suppl.), 539-44 (1996).
6. Asselman, T. et J. Paris, «Fermeture des circuits d'eau de procédé dans une usine intégrée de fabrication de papier journal: recyclage des effluents du procédé et du biotraitement», *Revue ATIP*, 52, (1), 1-7 (1998).
7. Crotogino, R.H., N.A. Poirier, D.T. Trinh, «The Principals of Pulp Washing», *Tappi J.*, 70, (6), 95-103 (1987).
8. Kotila, P.S., and T.K. Estes, «Closed Mill Systems and Implications for Process Water Reuse», *Progress in Paper Recycling*, 3, (4), 42-6 (1994).
9. English, C., «Wash Deinking Strategies», in *Recycling and Deinking Course*, CPPA, TECH'94 (1994).
10. McCool, M.A., «Flotation Deinking», Chap. 15, in *Secondary Fiber Recycling*, R.J. Spangenberg ed., 141-62, TAPPI Press, Atlanta (1993).
11. Magda, J.J. and J.Y. Lee, «A Critical Examination of the Role of Ink Surface Hydrophobicity in Flotation Deinking», *Tappi J.*, 82, (3), 139-45 (1999).