



PNUE



ONUDI

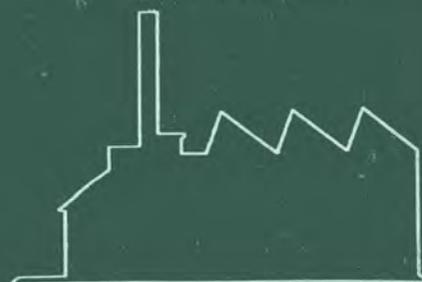
PNUE CAP/IE - PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR
L'ENVIRONNEMENT - CENTRE D'ACTIVITÉ DU PROGRAMME
INDUSTRIE ET ENVIRONNEMENT

ONUDI - ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE
DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

RAPPORT TECHNIQUE N° 7

Manuel

Audit et réduction des émissions et déchets industriels



Manuel
Audit et réduction
des
émissions et déchets industriels



ONUDI

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT
INDUSTRIEL
CENTRE INTERNATIONAL DE VIENNE
P.O. BOX 300
A-1400 VIENNE, AUTRICHE
TEL : 43 (1) 211 310
FAX : 43 (1) 232 156



PNUE CAP/IE

PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR L'ENVIRONNEMENT
CENTRE D'ACTIVITÉ DU PROGRAMME
INDUSTRIE ET ENVIRONNEMENT
39-43 QUAI ANDRE CITROEN
75739 PARIS CEDEX 15 - FRANCE
TEL : 33 (1) 40 58 88 50
TLX : 20499F
FAX : 33 (1) 40 58 88 74

Ce manuel est la septième publication d'une Série Technique qui regroupe les Directives, Communications, Rapports Techniques et Actes de Séminaires précédemment publiés par le PNUE CAP/IE. Le regroupement de ces travaux en une seule série assurera une plus grande cohésion des publications futures et permettra d'inclure dans un document unique les divers éléments des travaux CAP/IE qui avaient été jusqu'à maintenant présentés séparément.

La Série Technique vise, comme auparavant, à répondre aux besoins d'un large éventail d'instances gouvernementales, de gestionnaires industriels et d'associations pour la protection de l'environnement, en fournissant des informations sur les problèmes et les méthodes de gestion environnementale concernant les différents secteurs industriels.

Copyright © 1991 PNUE

Texte dont la traduction n'a pas été établie par le Service des Conférences et du Conseil d'administration du PNUE.

Tous droits réservés. Aucune section de cet ouvrage ne peut être reproduite, ni stockée dans des systèmes de traitement de données ni transmise sous quelque autre forme que ce soit (électronique, électrostatique, bande magnétique, mécanique, photocopie, enregistrement ou autre), sans l'autorisation préalable par écrit des détenteurs des droits de copyright.

Première Edition Française 1992

Les désignations employées et la présentation des documents dans cet ouvrage n'impliquent en aucune manière l'expression d'une opinion quelconque de la part du Programme des Nations Unies pour l'Environnement en ce qui concerne le statut juridique de tout pays, territoire, ville ou région, ou de leurs autorités, ni en ce qui concerne la délimitation des leurs frontières. Par ailleurs, les avis exprimés ne représentent pas nécessairement une décision ou une politique officielle du Programme des Nations Unies pour l'Environnement. En outre, l'utilisation de marques de fabrique ou de procédés commerciaux cités dans cet ouvrage ne saurait en aucun cas en constituer une sanction officielle.

UNITED NATIONS PUBLICATION	
N° de vente	F 91-III-D6
ISBN	92-807-1317-5

Table des Matières

Remerciements		iii
Avant-propos		v
Chapitre 1	Introduction à l'audit de déchets	1
Schéma des opérations:	Guide d'audit rapide	5
Chapitre 2	La procédure d'audit	7
Phase 1	Pré-évaluation	9
Etape 1 :	Focalisation et préparation d'un audit	9
Etape 2 :	Liste des opérations élémentaires	11
Etape 3 :	Elaboration de diagrammes de fabrication	12
Phase 2	Bilan-matières: entrées et sorties de processus	15
Etape 4 :	Détermination des entrées	15
Etape 5 :	Relevé de la consommation d'eau	18
Etape 6 :	Mesure des niveaux actuels de réemploi/recyclage des déchets	19
Etape 7 :	Quantification des sorties de processus	20
Etape 8:	Prise en compte des eaux usées	21
Etape 9:	Prise en compte des émissions gazeuses	23
Etape 10:	Prise en compte des déchets hors site	24
Etape 11:	Regroupement des données d'entrée et sortie pour les opérations élémentaires	25
Etape 12:	Etablissement d'un bilan-matières préliminaire pour les opérations élémentaires	26
Etape 13:	Evaluation du bilan-matières	26
Etape 14:	Affinage du bilan-matières	27
Phase 3	Synthèse	28
Etape 15:	Etude des mesures évidentes de réduction des déchets	29
Etape 16:	Ciblage et caractérisation des déchets problématiques	30
Etape 17:	Tri des déchets	31
Etape 18:	Elaboration d'options à long terme de réduction des déchets	31
Etape 19:	Evaluation environnementale et économique des options de réduction des déchets	32
Etape 20:	Elaboration et mise en oeuvre d'un plan d'action: réduction des déchets et amélioration de la productivité	35
Chapitre 3	Etudes de cas	37
Etude de cas 1:	Production de bière	39
Etude de cas 2:	Fabrication du cuir	56
Etude de cas 3:	Fabrication de cartes à circuits imprimés	78
Chapitre 4	Renseignements utiles	101
Annexe 1	Méthodes de mesure des flux des eaux usées et des flux gazeux	103
Annexe 2	Glossaire	111
Annexe 3	Références	115
Annexe 4	Programme du PNUE CAP/IE "Produire plus propre"	119

REMERCIEMENTS

Ce guide technique a été réalisé pour le compte du Programme des Nations Unies pour l'Environnement - Centre d'Activité Industrie et Environnement (PNUE CAP/IE) et de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI), en faisant appel à la contribution et à l'aide d'un groupe international d'experts:

M. M. Belliappa, Environmental Research Foundation, Inde
M. K. Bradley, Wastart Ltd, Environmental Consultancy, Canada
Mme L. Brown, Environmental Protection Agency, USA & Netherlands Organization for Technology Assessment, Pays-Bas
Mme T. Harten, Environmental Protection Agency, USA & Netherlands Organization for Technology Assessment, Pays-Bas
Pr. E. Kempa, Institute of Sanitary Engineering, Pologne
M. D. Mebratu, Sintec plc, Industrial and Waste Management Consultancy, Ethiopie
M. A. Somani, Banque Mondiale, Washington D.C., USA
Dr. P. Modak, CESE, Bombay, Inde

Le PNUE CAP/IE et l'ONUDI souhaitent de plus remercier de son assistance la Ontario Waste Management Corporation (OWMC) dont l'expertise et les publications les ont précieusement guidés. Le présent guide technique a été adapté à partir d'un manuel d'audit et de réduction des déchets publié précédemment par l'OWMC.

Ce guide a été réalisé par ASHACT Ltd, Process and Environmental Management Consultants (Royaume Uni), sous contrat du PNUE CAP/IE.

Les membres suivants du PNUE CAP/IE ont participé à ce projet:

Mme J. Aloisi de Larderel, Directrice
M. F. Balkau, Directeur en chef du Programme
M. J. Kryger, Chef Consultant
Mme K. Oldenburg, Chef Consultant

Au sein de l'ONUDI, la coordination du projet a été assurée par Dr. R. A. Luken, Conseiller Environnemental, Service de la Coordination Environnementale.

Le gouvernement de la Norvège, par l'intermédiaire de l'ONUDI, a contribué financièrement à la réalisation de ce manuel.

AVANT-PROPOS

Un développement industriel écologiquement durable ne pourra devenir une réalité que si nous adoptons des méthodes de production générant moins de déchets et d'émissions que les processus industriels traditionnels. Un tel changement implique parfois l'adoption de nouvelles technologies de production plus propres. Pourtant, même en l'absence de ces nouvelles technologies, des améliorations apportées à l'exploitation peuvent bien souvent réduire de manière spectaculaire le niveau des rejets. Et une telle réduction du niveau de déchets et d'émissions signifie fréquemment des économies de coûts de production, en réduisant le gaspillage de précieuses matières premières.

La condition préalable à toute réduction efficace des émissions et déchets industriels est une information précise sur les origines et sources de rejets environnementaux. Une fois que les sources ont été identifiées, il est alors possible d'évaluer les options les plus rentables pour éviter, réduire et récupérer les déchets.

Afin d'aider au diagnostic des sources d'émissions et de déchets, le PNUE CAP/IE et l'ONUDI ont décidé d'unir leurs efforts pour réaliser le présent manuel d'audit. Ce manuel est fondé sur une publication antérieure réalisée en 1987 par la Ontario Waste Management Corporation. Pour pouvoir adapter cet ouvrage à un public international aussi large que possible, le PNUE CAP/IE et l'ONUDI ont fait appel aux conseils d'un groupe international d'experts qui se sont rencontrés pendant deux jours à Paris les 1 et 2 août 1991.

Ce manuel constitue un ouvrage de référence pratique, destiné au monde industriel. Il pourra être utilisé par:

- le personnel des usines à tous les niveaux concernés, pour améliorer leurs propres processus,
- les consultants chargés d'établir des rapports pour un client industriel,
- les fonctionnaires gouvernementaux chargés d'inspecter des installations industrielles existantes.

En fonction du résultat de la procédure d'audit, les informations sur les options de réduction pourront provenir d'un certain nombre de sources techniques. Le Centre International d'Information pour une Production Plus Propre (ICPIC), créé par le PNUE CAP/IE dans le cadre de son programme "Produire Plus Propre" avec le soutien de l'Agence pour la Protection de l'Environnement aux États-Unis (US/EPA), permet notamment à l'échelle mondiale un accès rapide aux informations sur les technologies, les programmes et les experts, dans plusieurs secteurs-clé de l'industrie. Le PNUE CAP/IE et l'ONUDI peuvent également fournir directement des conseils et une assistance au suivi technique dans de nombreux cas. On trouvera dans les Annexes à ce manuel des renseignements complémentaires concernant ces programmes.

Nous espérons que les décideurs, au niveau industriel et gouvernemental, trouveront dans cet ouvrage les éléments qui leur permettront de mettre en place des audits de déchets pouvant leur servir d'outils nouveaux dans une gestion qui aboutira à concrétiser, dans un avenir proche, le concept de production industrielle plus propre.

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION A L'AUDIT DE DECHETS

Dans le contexte de ce manuel, le terme de déchets est pris dans son sens large pour inclure tout rejet de non-produit provenant d'un processus industriel. Il décrit ainsi les rejets gazeux, liquides et solides.

Par le passé, la gestion des déchets s'est concentrée sur le traitement des déchets en sortie de production, en concevant des usines de traitement des déchets et en installant des équipements de contrôle de la pollution destinés à éviter la contamination de l'environnement.

Une philosophie différente a commencé à apparaître depuis quelque temps : elle concerne l'idée de prévention et de réduction des déchets. La question est désormais de savoir comment nous pouvons empêcher la génération de déchets. Comment pouvons nous réduire ces déchets ? Et pouvons-nous réutiliser ou récupérer ces déchets ?

Ce passage progressif du traitement des déchets vers une prévention des déchets présente les intérêts suivants :

- les quantités de déchets diminuent,
- la consommation de matières premières, et donc les prix de revient, diminuent,
- les coûts de traitement des déchets diminuent,
- le potentiel de pollution diminue,
- les conditions de travail s'améliorent,
- les performances des procédés s'améliorent.

Pour prévenir ou réduire la génération de déchets, il vous faut tout d'abord examiner votre processus industriel afin d'identifier les origines des déchets, les problèmes opérationnels associés au procédé et les domaines susceptibles d'amélioration.

Un audit de déchets constitue la première étape d'un programme continu destiné à optimiser les ressources au maximum et à améliorer la performance du procédé. C'est la seule approche sensée qu'il convient d'adopter pour aborder l'identification des problèmes et y trouver les solutions.

Un audit de déchets vous permet d'accéder à une vue d'ensemble de votre site ou de votre procédé de production, facilite la compréhension des flux de matériaux et focalise l'attention sur des points où la réduction des déchets, et par conséquent les économies de coût, sont du domaine du possible.

Entreprendre un audit de déchets implique l'observation, la mesure et l'enregistrement de données, ainsi que le prélèvement et l'analyse d'échantillons de déchets. Pour être efficace, il doit s'effectuer de manière méthodique, détaillée et approfondie, et il doit en outre bénéficier d'un soutien inconditionnel de la part du personnel d'encadrement et d'exploitation.

Un bon audit de déchets :

- définit les sources, les quantités et les types de déchets générés,

- recueille des informations sur les opérations élémentaires, matières premières, produits, consommation d'eau et déchets,
- met en évidence les déficiences du procédé et les domaines de mauvaise gestion,
- aide à fixer des objectifs de réduction des déchets,
- permet la mise au point de stratégies rentables de gestion des déchets,
- sensibilise le personnel aux avantages d'une réduction des déchets,
- accroît vos connaissances du procédé,
- favorise l'amélioration de l'efficacité du procédé.

La procédure d'audit de déchets peut s'appliquer à des échelles différentes. L'audit d'une région permet de mettre en évidence des industries à problème. Au niveau de l'usine, l'origine des déchets peut se localiser à des processus particuliers, permettant ainsi de ventiler les frais de traitement à la charge du secteur incriminé. Enfin, au niveau du procédé, l'origine exacte des déchets peut être repérée afin de mettre en place des mesures adaptées de réduction des déchets.

Ce manuel a été conçu à l'usage des personnels de tous niveaux, techniques autant que non-techniques. C'est un guide pratique destiné à vous aider à comprendre vos processus industriels.

Comment utiliser le manuel

La démarche d'audit de déchet conduisant à la mise en oeuvre d'un plan d'action de réduction des déchets est illustrée ci-contre sous forme de diagramme (voir également le Guide d'Audit Rapide détachable en fin du manuel).

Pour entamer cette démarche, utilisez le Guide d'Audit Rapide et reportez-vous à la Procédure d'Audit du Chapitre 2 qui fournit des instructions sur chacune des étapes à suivre.

Utilisez comme point de départ des tableaux similaires aux Tableaux 1-9 qui vous serviront de base pour l'acquisition et l'organisation des données.

Le manuel comporte trois études de cas illustrant les applications très larges qui peuvent être faites de cette approche.

GUIDE D'AUDIT RAPIDE

PHASE I : PRE-EVALUATION

PREPARATION D'UN AUDIT

- Etape 1 : préparer et organiser l'équipe et les moyens
- Etape 2 : diviser le processus en opérations élémentaires
- Etape 3 : élaborer des diagrammes de fabrication

PHASE 2 : BILAN MATIERES

ENTREES DE PROCESSUS

- Etape 4 : déterminer les entrées
- Etape 5 : relever la consommation d'eau
- Etape 6 : mesurer les niveaux actuels réemploi/recyclage des déchets

SORTIES DE PROCESSUS

- Etape 7 : quantifier les produits/sous-produits
- Etape 8 : prise en compte des eaux usées
- Etape 9 : prise en compte des émissions gazeuses
- Etape 10 : prise en compte des déchets hors site

CALCULER LE BILAN-MATIERES

- Etape 11 : regrouper les données d'entrées et sorties
- Etape 12 : établir un bilan-matières préliminaire
- Etape 13 et 14 : évaluer et affiner le bilan-matières

PHASE 3 : SYNTHESE

IDENTIFIER LES OPTIONS DE REDUCTION DES DECHETS

- Etape 15 : identifier les mesures évidentes de réduction des déchets
- Etape 16 : cibler et caractériser les déchets problématiques
- Etape 17 : étudier la possibilité de tri des déchets
- Etape 18 : identifier les options à long terme de réduction des déchets

EVALUER LES OPTIONS DE REDUCTION DES DECHETS

- Etape 19 : entreprendre une évaluation environnementale et économique des options de réduction des déchets, dresser une liste des options viables

PLAN D'ACTION DE REDUCTION DES DECHETS

- Etape 20 : élaborer et mettre en oeuvre un plan d'action de réduction des déchets permettant d'améliorer l'efficacité du procédé

CHAPITRE 2 : LA PROCEDURE D'AUDIT

Ce chapitre décrit pas à pas la démarche à suivre pour réaliser un audit de déchets. Il est conçu sous une forme générique de manière à pouvoir s'appliquer à un large éventail d'industries. La démarche comporte trois phases : une phase de pré-évaluation pour la préparation de l'audit, une phase de collecte des données destinée à établir un bilan-matières, et une phase de synthèse au cours de laquelle les résultats du bilan-matières sont traduits sous forme d'un plan d'action de réduction des déchets.

Il se peut que toutes les étapes de l'audit décrites ici ne soient pas pertinentes dans une situation particulière. De même, des étapes supplémentaires pourront s'avérer nécessaires dans certains cas. Néanmoins, le démarche décrite ci-après devra former la base de votre étude.

Pour réaliser votre audit, utilisez le Guide d'Audit Rapide inclus en fin de ce manuel, en association avec les notes explicatives données dans les pages qui suivent.

PHASE 1 : PRE-EVALUATION

Etape 1 : Focalisation et préparation d'un audit

La préparation complète et approfondie d'un audit de déchets constitue une condition sine qua non à la réalisation d'une étude efficace et rentable. Il est en outre de la plus grande importance d'obtenir le soutien des dirigeants et des cadres si l'on veut ensuite pouvoir concrétiser les résultats de l'audit, faute de quoi aucune réelle action ne sera possible.

Il convient tout d'abord de mettre en place l'équipe chargée de réaliser l'audit. Le nombre de personnes nécessaires dans cette équipe sera fonction de la taille et de la complexité des processus à étudier. L'audit de déchets d'une petite usine pourra être entreprise par une seule personne, avec l'aide des employés. Un processus plus compliqué pourra en revanche nécessiter un minimum de 3 ou 4 personnes, avec une équipe comportant du personnel technique, des employés de fabrication et un spécialiste de l'environnement. L'implication du personnel à tous les niveaux de la fabrication permettra de rehausser la sensibilisation des employés à la réduction des déchets et de favoriser leur contribution et leur soutien au programme.

Un audit de déchets nécessitera probablement des moyens externes, comme par exemple des laboratoires d'analyses et éventuellement des appareils d'échantillonnage et de mesure des flux. Il vous faudra dès le début du projet tenter d'identifier les besoins en moyens externes.

Il se peut qu'une petite usine ne dispose pas de service ni de matériel d'analyse. Si c'est le cas, étudiez la possibilité de former un groupement d'audit de déchets en association avec d'autres usines ou industriels, dans le cadre duquel les frais encourus pour des services externes pourraient être partagés.

Il est essentiel de bien cibler votre audit dès le stade de la préparation. Vous pourriez décider par exemple que l'audit englobera l'ensemble d'un procédé, ou au contraire vous concentrer plutôt sur une section choisie des opérations élémentaires d'un procédé. Cette focalisation dépendra des objectifs de l'audit de déchets. Peut-être souhaitez-vous envisager globalement la question d'une minimisation des déchets, ou inversement axer votre réflexion sur des déchets spécifiques, par exemple :

- pertes de matières premières,
- déchets provoquant des problèmes de fabrication,
- déchets considérés comme dangereux ou soumis à des réglementations,
- déchets dont les coûts d'élimination sont élevés.

Un bon point de départ pour la conception de votre audit consiste à déterminer les problèmes et déchets majeurs associés à votre procédé ou secteur industriel particulier. L'évaluation rapide des sources de pollution de l'air, de l'eau et du sol, publiée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 1982) est une référence très utile pour mettre en évidence le type et les quantités type de déchets associés à une industrie spécifique. Le tableau ci-dessous illustre par exemple les quantités probables de déchets générés par l'industrie de tannage.

Tableau 1 : Fabrication de cuir et produits dérivés du cuir, de produits de substitution du cuir et de fourrures, à l'exclusion des chaussures et de l'habillement

		Éplage sans récupération du poil/ tannage au chrome/ finissage	Éplage avec récupération du poil/ tannage au chrome/ finissage	Éplage avec récupération du poil/ tannage végétal/ finissage
Volume de déchet	(m ³ /t de peaux)	53	63	50
DBO ₅	(kg/t de peaux)	95	69	67
DCO	(kg/t de peaux)	260	140	250
Solides en suspension	(kg/t de peaux)	140	145	135
Total solides	(kg/t de peaux)	525	480	345
Total chrome	(kg/t de peaux)	4,3	4,9	0,2
Sulfures	(kg/t de peaux)	8,5	0,8	1,2
Huile & graisse	(kg/t de peaux)	19	43	33
Total N	(kg/t de peaux)	17	13	9,2
pH		1-13	4-12,6	2-13

(Source : OMS, 1982)

L'ensemble de la documentation et des informations existantes sur le procédé, l'usine ou le secteur industriel local doivent être rassemblées et étudiées préalablement. Il pourra s'avérer nécessaire de procéder à des enquêtes sur les usines ou sur la région ; en effet, celles-ci peuvent fournir des renseignements utiles en indiquant les domaines préoccupants et en révélant des carences lorsqu'aucune autre donnée n'aura été disponible. Les questions suivantes pourront servir de lignes directrices sur la documentation utile :

- Dispose-t-on d'un plan du site ?
- Dispose-t-on de diagrammes de fabrication ?
- Existe-t-il un programme de surveillance des déchets de fabrication ? peut-on avoir accès aux dossiers ?
- Disposez-vous d'une carte des environs indiquant les cours d'eau, l'hydrologie et les zones peuplées ?
- Existe-t-il d'autres usines/installations dans la région utilisant des procédés similaires ?

D'autres données qui peuvent être recueillies rapidement, constituent des indications précieuses :

- Quels sont les déchets évidents associés à votre procédé ?
- En quels points la consommation d'eau est-elle importante ?
- Utilisez-vous des produits chimiques dont l'usage et la manipulation font l'objet d'instructions spéciales ?
- Avez-vous des frais de traitement et d'élimination des déchets ? Quels sont-ils ?
- Où se trouvent vos points de rejet pour les déchets liquides et solides et pour les émissions gazeuses ?

Il conviendra d'informer le personnel de l'usine qu'un audit de déchets est en cours de réalisation et de l'encourager à y prendre part. Le soutien du personnel est impératif dans ce type d'étude interactive. Il est important en outre d'effectuer l'audit pendant les heures normales de travail de manière à pouvoir consulter les opérateurs et les employés, observer le matériel en fonctionnement, et surtout quantifier les déchets produits.

Etape 2 : Liste des opérations élémentaires

Votre processus industriel comporte un certain nombre d'opérations élémentaires. Une opération élémentaire peut se définir comme une étape du procédé ou un équipement à l'endroit desquels des matériaux sont introduits, une fonction a lieu, ou bien des matériaux ressortent, éventuellement sous une forme, une composition ou un état différents. Un procédé peut, par exemple, comporter les opérations élémentaires suivantes : stockage des matières premières, traitement de surface des composants, rinçage, peinture, séchage, stockage des produits et traitement des déchets.

Une enquête préliminaire du site devra inclure une visite complète dans l'ensemble des installations de fabrication afin d'acquérir une bonne compréhension de toutes les opérations de transformation et de leur corrélation. Ceci aidera l'équipe d'audit à décider comment décrire un procédé en terme d'opérations élémentaires. Au cours de cet aperçu initial, il sera utile de noter les observations visuelles et les discussions, et de faire des schémas de l'implantation, des systèmes de drainage, des bouches d'aération, des tuyauteries et autres zones de transfert des matériaux. Ces notes et schémas permettront d'éviter que des facteurs importants soient négligés.

L'équipe d'audit devra consulter le personnel de production au sujet des conditions normales de fonctionnement. Outre le fait de donner aux auditeurs une bonne idée des procédures concrètes de fonctionnement, le personnel de l'usine connaîtra vraisemblablement les points de rejet des déchets, ou bien les opérations imprévues génératrices de déchets, telles que des épandages accidentels ou les ruissellements d'eau de rinçage. Il pourra ressortir de l'enquête que les procédures des équipes de nuit diffèrent de celles de équipes de jour. Par ailleurs, une visite de l'usine révèle parfois que les pratiques réelles de manipulation des matériaux sont différentes des procédures définies sur papier.

Un employé de longue date pourra fournir des indications sur des problèmes de procédé récurrents. En l'absence d'un historique de surveillance, ces renseignements sont d'une grande utilité. Pour qu'une telle coopération soit vraiment profitable, il conviendra toutefois de s'abstenir de tout reproche envers les employés afin qu'ils ne se sentent pas personnellement accusés.

Phase 1 : Pré-évaluation

Au cours de l'enquête préliminaire, il conviendra de noter les problèmes immédiats nécessitant d'être résolus avant même l'achèvement de l'audit.

Il est essentiel que l'équipe d'audit comprenne bien les variables fonctionnelles et opérationnelles associées à chaque opération élémentaire. De même, il faudra recueillir, si possible sous forme de dossiers distincts, toutes les informations disponibles sur les opérations élémentaires et sur le procédé global. La présentation de ces informations sous forme de tableaux, similaires au Tableau 2 ci-dessous, sera très utile.

Tableau 2 : Identification des opérations élémentaires

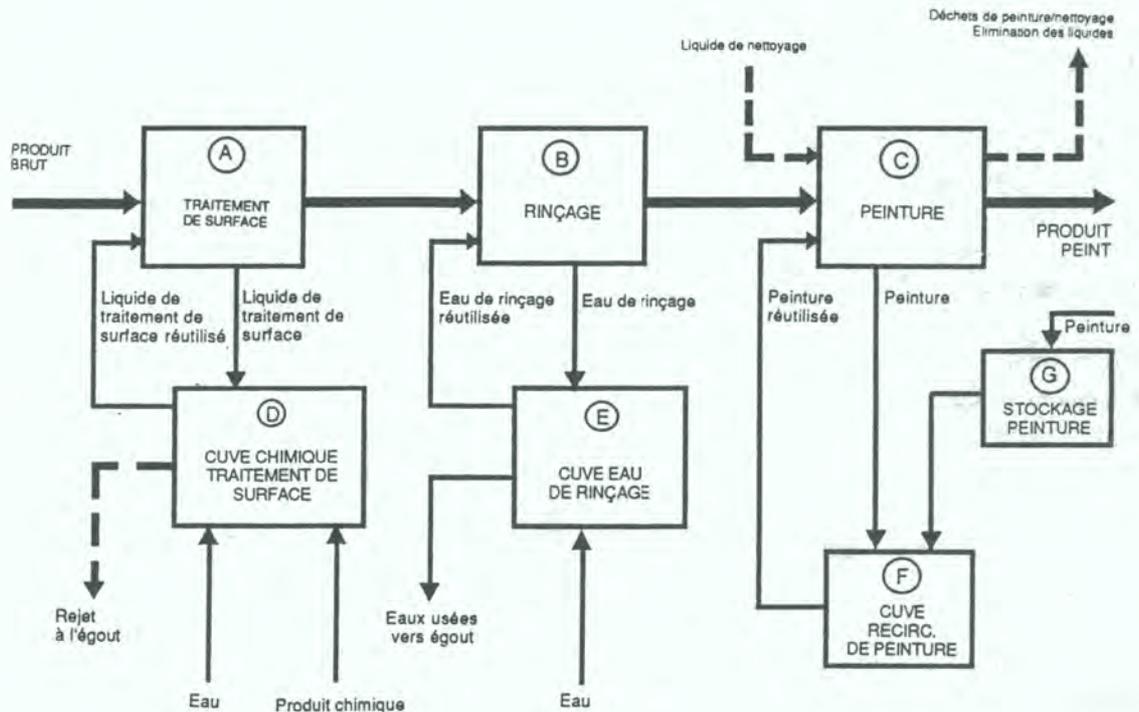
Opération élémentaire	Fonction	Numéro de dossier
(A) Traitement de surface	Traitement de surface des produits métalliques Chambre de diffusion 10 m ³ , 6 pulvérisateurs, pompe 100 l/min	1
(B) Rinçage	Lavage des produits métalliques avant peinture	2

Un deuxième aspect important concerne l'identification des opérations de manutention des matériaux (manuelle, automatique, en vrac, en fûts, etc.) pour tout ce qui recouvre les matières premières, les pratiques de transfert et les produits. Il pourra s'avérer utile d'inclure cet aspect dans le tableau ci-dessus comme prélude à l'établissement du bilan-matières (Phase 2).

Etape 3 : Elaboration de diagrammes de fabrication

En reliant les différentes opérations élémentaires sous forme d'un bloc-diagramme, vous pouvez préparer un diagramme de fabrication. Une distinction sera faite avec les opérations intermittentes, comme le nettoyage, le remplissage ou la vidange des cuves, en utilisant des lignes pointillées pour relier les cases appropriées. La Figure 1 illustre un exemple de diagramme simplifié concernant un procédé de traitement de surface des métaux.

Figure 1 : Diagramme d'un procédé de traitement de surface des métaux



Dans le cas de procédés industriels complexes, préparez un diagramme de fabrication général illustrant les zones principales du procédé, puis tracez sur des feuilles séparées des organigrammes détaillés de chacune des principales zones de procédé. La manière de procéder est illustrée par l'étude de cas sur la fabrication de cartes à circuits imprimés, présentée dans le Chapitre 3 (Étude de cas 3).

Il vous faut maintenant décider du degré de détail nécessaire pour atteindre vos objectifs.

Il est important de se rappeler que plus l'échelle de l'audit sera grande ou moins il sera détaillé, plus le nombre d'informations susceptibles de se perdre ou d'être masquées sera grand. Il est donc essentiel, dès les premiers stades, de fixer le niveau correct de détail et de cibler des zones spécifiques.

Accordez tout particulièrement votre attention à remédier à la génération de déchets évidents pouvant être aisément réduits ou évités, et cela avant même de procéder à l'élaboration du bilan-matières (Phase 2). En effectuant au départ des modifications toutes simples, les bénéfices résultants vous permettront de vous assurer le concours des employés et de stimuler leur enthousiasme pour un programme global d'audit et de réduction des déchets.

Phase 1 Résumé

En fin de l'étape de pré-évaluation, l'équipe d'audit doit avoir été organisée et mise au courant des objectifs de l'audit de déchets.

Le personnel de l'usine aura été informé du but de l'audit afin d'optimiser la coopération entre toutes les parties concernées.

Tous les moyens financiers nécessaires auront été obtenus et les services externes vérifiés quant à leur disponibilité et leur compétence.

L'équipe doit avoir été mise au courant de l'historique global et de l'environnement local de l'usine.

L'envergure et la cible de l'audit de déchets auront été fixés, et un calendrier approximatif établi de manière à s'inscrire dans les schémas de production.

L'équipe d'audit doit avoir pris connaissance de l'implantation des procédés au sein de l'usine, et aura dressé une liste des opérations élémentaires associées à chacun des procédés. Les sources de déchets et leurs causes auront également été identifiées.

Il doit maintenant être possible de tracer des diagrammes de fabrication mettant en évidence les zones à couvrir dans l'audit de déchets.

Toutes mesures évidentes de réduction des déchets pouvant être facilement adoptées, doivent être mises en oeuvre immédiatement.

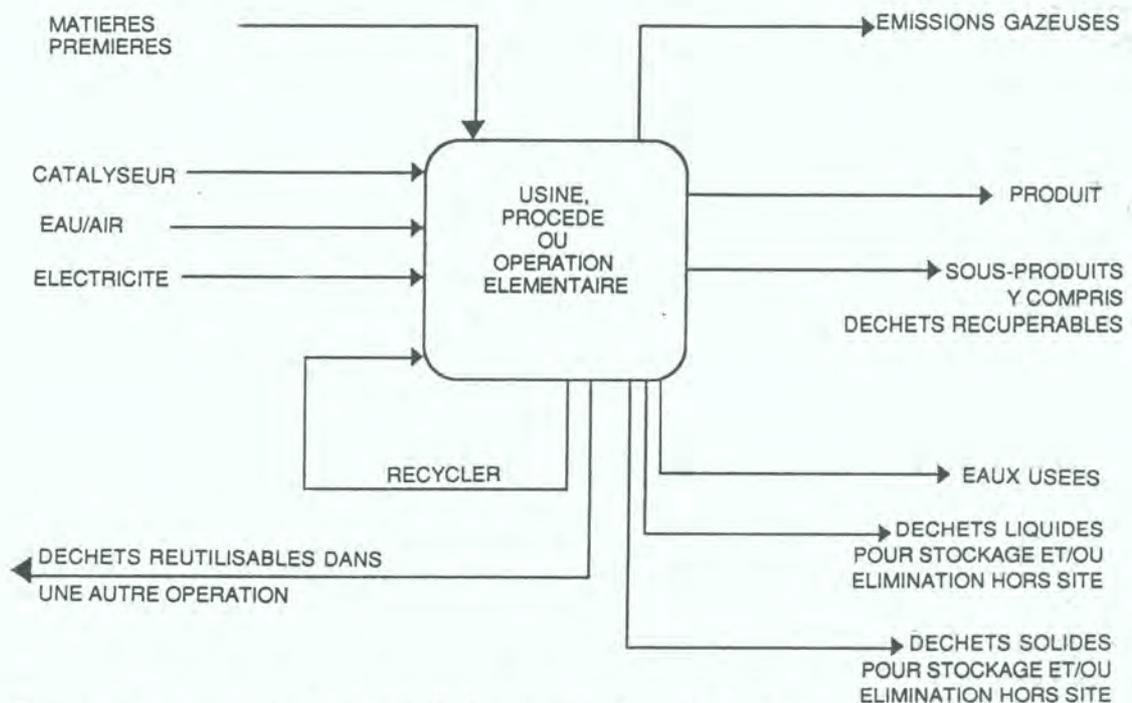
Les résultats de l'étude de la Phase 1 pourront être présentés à la direction sous forme d'un bref rapport de pré-évaluation afin de réaffirmer leur engagement avant le démarrage de la deuxième phase.

PHASE 2 : BILAN-MATIERES : ENTREES ET SORTIES DE PROCESSUS

Un bilan-matières se définit comme une comptabilisation précise des matières en entrée et en sortie de processus.

Cette deuxième phase décrit une procédure destinée à recueillir et à organiser les données d'entrée et de sortie. La procédure peut s'appliquer pour déduire le bilan-matières d'une usine, d'un procédé ou d'une opération élémentaire. La Figure 2 donne l'exemple d'un ensemble de composants nécessitant d'être quantifiés pour déterminer un bilan-matières. Remarquez que les sorties peu fréquentes (p. ex. : déversement occasionnel d'un bain électrolytique) peuvent s'avérer aussi importantes que les rejets continus quotidiens.

Figure 2 : Composants-type d'un bilan-matières



Pour illustrer la procédure d'audit de déchets, le manuel se sert d'opération élémentaires.

Bien que la procédure décrite procède pas à pas, il est à souligner que les données de sortie de processus peuvent être rassemblées en même temps que les données d'entrée, voire avant ces dernières. Ce sera à vous de choisir la manière la plus efficace d'organiser votre emploi du temps.

Etape 4 : Détermination des entrées

Parmi les matières en entrée d'un procédé ou d'une opération élémentaire, on peut trouver des matières premières, des produits chimiques, de l'eau, de l'air et de l'électricité (Figure 2). Ces entrées nécessitent d'être quantifiées.

La première étape d'une quantification de l'usage de matières premières sera d'examiner les dossiers du service achats. Vous obtiendrez ainsi très rapidement une première idée de l'ampleur des quantités concernées.

Dans de nombreuses situations, les opérations élémentaires dans lesquelles on trouve le plus de perte de matières premières, sont celles de stockage et de transfert de ces matières premières. Il vous faudra étudier ces opérations en conjonction avec les dossiers d'achats afin de définir les quantités nettes d'entrées réelles dans le processus.

Prenez des notes sur les pratiques de stockage et de manutention des matières premières. Prenez en compte les pertes par évaporation, épandages, fuites dans les cuves de stockage souterraines, les pertes de vapeur issues des événements de surpression des réservoirs de stockage, ainsi que la contamination des matières premières. Il est souvent possible de remédier très simplement à ces problèmes.

Répertoriez dans un tableau les achats de matières premières ainsi que les pertes dues au stockage et à la manutention, de manière à déterminer les entrées nettes du processus (Tableau 3).

Tableau 3 : Pertes de matières premières dues au stockage et à la manutention

Matière première	Qté matière première	Qté matière première achetée (par an)	Type de stockage en production (par an)	Durée moyenne stockage	Pertes annuelles estimées
Matière première 1 (produit chimique traitement de surface)	100 kg	95 kg	Fermé	1 mois	5 kg
Matière première 2					
Matière première 3					

Une fois déterminées les entrées nettes de matières premières dans le procédé, il faut maintenant procéder à leur quantification pour chaque opération élémentaire.

En l'absence d'informations précises sur les taux de consommation de matières premières pour des opérations élémentaires individuelles, il vous sera nécessaire d'effectuer des mesures pour parvenir à des chiffres moyens. Ces mesures devront se poursuivre pendant une durée appropriée en fonction du procédé. Par exemple, pour une série de fabrication dont la période est d'une semaine, il faudra alors effectuer les mesures sur une durée minimum de trois semaines. Ces chiffres seront ensuite extrapolés sur un mois ou un an.

Une certaine quantification est possible à partir d'observations et de procédures simples de comptabilisation.

- Pour les matières premières solides, demandez au manutentionnaire combien de sacs sont stockés dans l'entrepôt en début de semaine ou avant le démarrage d'une opération élémentaire ; puis posez-lui la même question en fin de semaine ou après l'opération. Pesez quelques sacs pour vérifier leur conformité aux spécifications.
- Pour les matières premières liquides telles que l'eau ou les solvants, vérifiez la capacité des réservoirs de stockage et demandez à l'opérateur la date du dernier remplissage. On peut facilement estimer le volume d'une cuve sur la base de son diamètre et de sa profondeur. Surveillez les niveaux dans les réservoirs et le nombre de camions-citernes arrivant sur le site.

Tout au long des études de sorties, des conversations avec le personnel et de l'observation des opérations élémentaires en cours de fonctionnement, l'équipe d'audit doit réfléchir à la façon d'améliorer l'efficacité des opérations. Réfléchissez notamment aux questions suivantes :

- La taille des stocks de matières premières est-elle appropriée pour garantir une minimisation des pertes dues au stockage ?
- Distances de transfert entre le site de stockage et le procédé ou l'opération élémentaire - pourraient-elles être réduites afin de minimiser les gaspillages potentiels ?
- Les mêmes réservoirs sont-ils utilisés pour stocker des matériaux différents en fonction du produit de la série de fabrication ? Existe-t-il un risque de contamination réciproque ?
- Les sacs de matériaux sont-ils entièrement vidés ou y a-t-il gaspillage des restes ?
- Des matières visqueuses sont-elles utilisées sur le site ? Serait-il possible de réduire les pertes de résidus restant au fond des fûts ?
- La zone de stockage est-elle sûre ? Pourrait-on fermer un entrepôt à clé pendant la nuit ou bien poser une clôture pour limiter l'accès à la zone de stockage ?
- Comment protéger les matières premières stockées d'une exposition au soleil ou des intempéries ?
- Les poussières provenant des stockages constituent-elles un problème ?
- Les équipements utilisés pour pomper ou transférer les matériaux fonctionnent-ils correctement ? Sont-ils régulièrement entretenus ?
- Les épandages accidentels pourraient-ils être évités ?
- Le personnel affecté au processus est-il en nombre suffisant ?
- Comment assurer un suivi des entrées de matières premières dans le processus ?
- Certains équipements sont-ils dans un état nécessitant des réparations évidentes ?
- Les tuyauteries sont-elles auto-drainantes ?
- L'eau de pompage est-elle recyclée ?

Il convient à ce stade d'examiner les apports d'énergie dans une opération élémentaire. L'utilisation d'énergie méritera néanmoins de faire l'objet d'un audit complet. Aux fins de l'audit de déchets, notez les sources d'énergie en incluant toute réduction possible de gaspillage qui pourraient limiter les coûts énergétiques. S'il s'avère que la consommation d'énergie est un facteur prédominant, recommandez qu'un audit énergétique soit réalisé.

Des données sur les entrées seront inscrites dans votre diagramme de fabrication ou sous forme de tableau selon l'exemple du Tableau 4.

L'usage d'eau est très fréquent dans les procédés de production, à des fins de refroidissement, d'épuration des gaz, de lavage, de rinçage des produits et de nettoyage à la vapeur. Il est nécessaire de quantifier cette consommation d'eau en tant qu'entrée dans le processus.

Certaines opérations élémentaires peuvent faire appel à des déchets recyclés issus d'autres opérations élémentaires. Ces déchets recyclés représentent également une entrée.

Les Etapes 5 et 6 décrivent la manière dont ces deux derniers facteurs seront inclus dans votre audit de déchets.

Tableau 4 : Bilan des entrées

Opération élémentaire	Matière première 1 (m ³ /an)	Matière première 2 (tonnes/an)	Eau (m ³ /an)	Source énergétique
Traitement de surface (A)				
Rinçage (B)				
Peinture (C)				
Total matières premières utilisées dans toutes les opérations élémentaires				

Etape 5 : Relevé de la consommation d'eau

La consommation d'eau, autre que pour une réaction dans le procédé de fabrication, est un facteur qui doit faire l'objet d'une étude dans tout audit de déchets. L'utilisation d'eau à des fins de lavage, rinçage ou refroidissement est souvent négligée bien qu'elle représente un domaine dans lequel il est souvent simple et peu onéreux de réduire le gaspillage.

Avant d'évaluer la consommation d'eau pour les unités individuelles, étudier les questions d'ordre général suivantes concernant l'approvisionnement du site en eau.

- Identifier les sources d'eau. L'eau est-elle puisée directement d'un puits, d'une rivière ou d'un réservoir ? Est-elle stockée sur site dans des cuves ou dans un bassin ?
- Quelle est la capacité de stockage d'eau du site ?
- Comment l'eau est-elle transférée - par pompe, par gravité, manuellement ?
- Les précipitations constituent-elles un facteur important sur le site ?

Pour chacune des opérations élémentaires, étudier les points suivants.

- A quoi sert l'eau utilisée par chacune des opérations ? Refroidissement, épuration des gaz, lavage, rinçage des produits, humification des stocks, entretien général, refroidissement de sécurité, etc.
- Quelle est la fréquence de chacune de ces actions ?
- Quelle quantité d'eau est utilisée pour chacune de ces actions ?

Il est peu probable que la réponse à ces questions soit immédiatement disponible - il vous faudra entreprendre un programme de surveillance pour évaluer la quantité d'eau utilisée dans chaque opération élémentaire. Là encore, les mesures devront couvrir une durée suffisante pour s'assurer que toutes les actions soient correctement prises en compte. Examinez avec un soin particulier les actions épisodiques telles que le nettoyage à la vapeur et le lavage des cuves ; l'utilisation d'eau au cours de ces opérations se fait souvent à tort et à travers en quantités excessives. Informez-vous du moment où ces actions ont lieu de façon à pouvoir effectuer des mesures détaillées.

Classez les informations sur la consommation d'eau sous forme de tableau. Veillez à ce que les unités décrivant les actions épisodiques indiquent bien leur fréquence (Tableau 5).

Tableau 5 : Consommation d'eau

	Nettoyage	Vapeur	Refroidissement	Autres
Opération élémentaire A				
Opération élémentaire B				
Opération élémentaire C				

Toutes les mesures seront en unités standard, par exemple m³/an ou m³/jour

Une économie d'eau engendre des économies sur les coûts d'exploitation. Examinez les points suivant au cours de votre évaluation de la consommation d'eau :

- un contrôle plus strict de l'utilisation d'eau peut réduire le volume d'eaux usées nécessitant un traitement et aboutir ainsi à une économie de coût - à l'extrême, on arrive parfois grâce à un tel contrôle à réduire les volumes et à augmenter les concentrations de manière à permettre une valorisation rentable de matières, au lieu d'une épuration coûteuse des effluents ;
- une attention soigneuse aux bonnes pratiques d'entretien des installations permet souvent de réduire la consommation d'eau, et par conséquent la quantité d'eaux usées passant dans les canalisations ;
- les coûts de stockage d'eaux usées pour recyclage ultérieur sont souvent bien moins élevés que les coûts de traitement et d'élimination ;
- le rinçage à contre-courant et la réutilisation des eaux de rinçage sont mis en lumière dans les études de cas du manuel car ils représentent un bon moyen pour réduire la consommation d'eau.

Etape 6 : Mesures des niveaux actuels de réemploi/recyclage des déchets

Certains déchets se prêtent facilement à un réemploi direct dans le procédé de production et peuvent être transférés d'un poste à un autre (par exemple, réutilisation de l'eau de rinçage final pour le premier rinçage dans une usine de mise en bouteille de boissons non-alcoolisées) ; d'autres nécessitent certaines modifications avant d'être réutilisés dans le procédé. Ces flux de déchets réutilisables doivent être quantifiés.

Si les déchets réutilisés ne sont pas bien documentés, ils risquent de se trouver comptabilisés en double dans le bilan-matières, notamment au niveau du processus ou de l'ensemble de l'usine ; c'est à dire qu'un déchet devra être quantifié en tant que sortie d'un processus et entrée dans un autre.

Le réemploi ou le recyclage de déchets peut réduire la quantité d'eau neuve et de matières premières requises par un processus. Tout en examinant les entrées dans les opérations élémentaires, réfléchissez aux possibilités de réemploi et de recyclage des déchets en sortie issus des autres opérations.

Résumé des Etapes 4, 5 et 6

En fin de l'Etape 6, vous aurez quantifié toutes les entrées de matières du processus.

Les entrées nettes de matières premières et d'eau auront été déterminées en tenant compte de toutes pertes découlant des stades de stockage et de transfert.

Toutes les entrées de matières réutilisées ou recyclées auront été documentées.

Toutes les notes que vous aurez prises sur la manutention des matières premières, l'implantation du processus, les pertes en eau, les zones à problèmes évidents, seront classées pour référence ultérieure au cours de la Phase 3.

Etape 7 : Quantification des sorties de processus

Pour calculer la deuxième partie du bilan-matières, il convient maintenant de quantifier les sorties provenant d'opérations élémentaires et de l'ensemble du procédé.

Ces sorties comportent le produit primaire, les sous-produits, les eaux usées, les rejets gazeux (émission dans l'atmosphère), les déchets liquides et solides nécessitant un stockage et/ou une élimination hors site, et les déchets réutilisables ou recyclables (Figure 2). Vous trouverez peut-être utile de dresser un tableau semblable au Tableau 6 afin d'organiser vos renseignements sur les sorties de processus. Il est important dans ce tableau d'identifier clairement les unités de mesure utilisées.

Tableau 6 : Sorties de processus

Opération élémentaire	Produit	Sous-produit	Déchets réutilisés	Eaux usées	Emissions gazeuses	Déchets stockés	Déchets liquides/solides hors site
Opération élém. A							
Opération élém. B							
Opération élém. C							
Total							

L'évaluation des quantités de produits primaires ou utiles est un facteur clé de l'efficacité d'un procédé industriel ou d'une opération élémentaire.

Si le produit primaire est expédié hors site pour être vendu, les quantités produites seront alors vraisemblablement consignées dans les dossiers de l'entreprise. Toutefois, s'il s'agit d'un produit intermédiaire destiné à entrer dans un autre procédé ou une autre opération, les quantités risquent alors

d'être moins faciles à quantifier. Les rendements de production devront être mesurés sur une certaine période. De même, des mesures pourront également s'avérer nécessaires pour quantifier les sous-produits. Vous trouverez dans les Etapes 8, 9 et 10 des conseils sur la marche à suivre pour quantifier les eaux usées, les émissions gazeuses et les déchets éliminés hors site.

Etape 8 : Prise en compte des eaux usées

Sur bien des sites, des quantités importantes d'eau propre aussi bien que contaminée sont rejetées à l'égout ou dans un cours d'eau. Dans de nombreux cas, ces eaux usées présentent des implications environnementales et entraînent des coûts de traitement. En outre, les eaux usées peuvent emporter dans leur sillage de coûteuses matières premières non-utilisées.

Il est donc indispensable de savoir comment les eaux usées s'évacuent dans les canalisations et ce qu'elles contiennent. Il est par conséquent nécessaire de quantifier, d'échantillonner et d'analyser les flux d'eaux usées issues de chaque opération élémentaire ainsi que de l'ensemble du processus.

Voici quelques suggestions sur la manière de procéder à une étude approfondie des flux d'eaux usées sur votre site.

- Identifiez les points de rejet des effluents ; c'est à dire, à quel endroit les eaux usées quittent-elles le site ? Les eaux usées peuvent être dirigées vers une station d'épuration des effluents ou bien directement vers les égouts ou un cours d'eau. L'un des facteurs souvent négligés est l'utilisation de plusieurs points de rejet - il est important d'identifier l'emplacement, le type et la taille de tous les flux de rejet.
- Identifiez les endroits où les flux issus des différentes opérations ou zones de processus contribuent au flux global. Il est possible, de cette manière, de reconstituer le puzzle du réseau de drainage sur votre site. Cet examen amène parfois à faire d'étonnantes découvertes sur la destination finale de certains produits !
- Une fois que l'on a acquis une bonne connaissance du réseau de drainage, il devient possible de mettre au point un programme approprié de prélèvement d'échantillons et de mesure des flux, destiné à surveiller les flux d'eaux usées et leur débit en provenance de chaque opération élémentaire.
- Planifiez votre programme de surveillance de manière détaillée et approfondie. Essayez de prélever des échantillons dans un champ étendu de diverses conditions d'exploitation, telles que production complète, mise en service, mise hors service, nettoyage, etc. Dans les cas où le réseau de drainage combine les eaux usées avec les eaux de pluie, assurez-vous que l'échantillonnage et les mesures de flux s'effectuent par temps sec.
- Pour des flux de petite importance ou issus d'un seul lot de production, il est parfois possible en pratique de récupérer la totalité de l'écoulement et d'en mesurer le débit à l'aide d'un seau et d'une montre. Des flux plus importants ou continus d'eaux usées pourront être évalués à l'aide des techniques de mesure d'écoulement. L'une de ces méthodes fait appel à un système de caisson de mesure avec une encoche simple soit triangulaire (encoche en V) soit rectangulaire, comme décrit en Annexe 1.

Phase 2 : Bilan-matières : entrées et sorties de processus

La somme des eaux usées générées par chaque opération élémentaire sera approximativement la même que la quantité introduite en entrée dans le processus. Comme indiqué précédemment dans l'Etape 6, il conviendra là aussi de veiller à ne pas comptabiliser deux fois les eaux usées éventuellement réutilisées. Ceci souligne l'importance d'une bonne compréhension de vos opérations élémentaires et de leurs corrélations.

Les eaux usées devront ensuite être analysées afin de déterminer les concentrations en contaminants.

- Les analyses d'eaux usées devront porter sur le pH, la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO₅), les solides en suspension, les graisses et les huiles.
- Les autres paramètres à mesurer dépendront des entrées de matières premières. Par exemple, un procédé galvanoplastique fera probablement usage de nickel et de chrome. Les concentrations en métaux des eaux usées doivent être mesurées pour s'assurer qu'elles ne dépassent pas la réglementation sur les rejets et qu'en outre les matières premières ne se perdent pas elles aussi dans les canalisations d'évacuation. Toutes les substances toxiques éventuellement utilisées au cours de fabrication seront également mesurées.
- Prélevez des échantillons pour analyse en laboratoire. Il conviendra de prélever des échantillons composites pour les écoulements continus d'eaux usées. Un petit volume de 100 ml pourra par exemple être prélevé toutes les heures au cours d'une période de production de dix heures, de façon à obtenir 1 litre d'échantillon composite. Celui-ci représente les conditions moyennes d'eaux usées sur l'ensemble de cette période. Dans les cas où il se produit d'importantes variations de flux pendant la période de rejet, il faudra veiller à faire varier la taille des échantillons individuels en proportion du débit pour s'assurer que l'échantillon composite obtenu est bien représentatif. Pour les cuves à lots et les purges périodiques, un échantillon simple pourra suffire (vérifiez les variations entre différents lots avant de choisir la méthode d'échantillonnage).

Les flux et les concentrations des eaux usées seront résumés sous forme de tableau (Tableau 7).

Tableau 7 : Flux d'eaux usées

	Rejet vers									
	Egouts municipaux		Déversoir eaux de pluie		Réemploi		Stockage		Débit total d'eaux usées	
Source d'eaux usées	Flux	Concentr.	Flux	Concentr.	Flux	Concentr.	Flux	Concentr.	Flux	Concentr.
Opération élémentaire A										
Opération élémentaire B										
Opération élémentaire C										

Flux en m³/j ; concentrations de contaminants concernés en mg/l

Etape 9 : Prise en compte des émissions gazeuses

Pour parvenir à un bilan-matières exact, il est nécessaire de quantifier les émissions gazeuses associées à votre procédé.

Il est important de prendre en compte les émissions gazeuses réelles et potentielles associées à chaque opération élémentaire, en partant du stockage des matières premières jusqu'au stockage des produits finis.

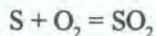
Les émissions gazeuses ne sont pas toujours évidentes à première vue et sont parfois difficiles à mesurer. L'Annexe 1 présente un aperçu de l'une des méthodes possibles pour mesurer les émissions gazeuses issues des événements à l'aide d'un sac percé d'un orifice. Lorsque la quantification est impossible, on utilisera des informations stoechiométriques pour effectuer des estimations. L'exemple ci-dessous illustre l'utilisation d'une estimation indirecte.

Soit une chaudière brûlant du charbon. Pour des raisons d'accès difficile ou d'absence d'événements d'échantillonnage sur la cheminée, il risque d'être impossible de mesurer la masse d'anhydride sulfureux sortant de la cheminée. La seule information dont on dispose, c'est qu'il s'agit d'un charbon de qualité tendre, contenant 3% de soufre en poids et que 100 kg de charbon sont brûlés en moyenne quotidiennement.

Calculez d'abord la quantité de soufre brûlé :

$$1000 \text{ kg charbon} \times 0,03 \text{ kg soufre/kg charbon} = 30 \text{ kg soufre/jour}$$

La réaction de combustion est approximativement la suivante :



Le nombre de molécules de soufre brûlé est égal au nombre de molécules d'anhydride sulfureux produit. Le poids atomique du soufre est de 32 et le poids moléculaire de l'anhydride sulfureux est de 64. Donc :

$$\text{kg-moles S} = 30 \text{ kg}/32 \text{ kg par kg-mole} = \text{kg-mole de SO}_2 \text{ formé}$$

$$\text{kg SO}_2 \text{ formé} = (64 \text{ kg SO}_2/\text{kg-mole}) \times \text{kg-moles SO}_2 = 64 \times 30/32 = 60 \text{ kg}$$

On peut ainsi estimer qu'une émission de 60 kg d'anhydride sulfureux se dégage chaque jour de la cheminée de chaudière.

Présentez les valeurs d'émissions sous forme de tableau. Indiquez si les chiffres correspondent à des estimations ou à des mesures réelles.

Lors de sa quantification des rejets gazeux, l'auditeur devra également étudier leurs caractéristiques qualitatives.

- Des odeurs sont-elles associées à une opération élémentaire ?
- Les émissions gazeuses sont-elles prédominantes à certains moments ? Sont-elles liées à la température ?
- Existe-t-il des équipements de prévention de pollution ?

Phase 2 : Bilan-matières : entrées et sorties de processus

- Les émissions gazeuses provenant d'espaces confinés (y compris les émissions volatiles) sont-elles évacuées vers l'extérieur ?
- Si le lavage des gaz est pratiqué, qu'advient-il des résidus de la solution de lavage ? Pourraient-ils être convertis en un produit utile ?
- Les employés portent-ils des vêtements de protection, masques, etc. ?

Etape 10 : Prise en compte des déchets hors site

Votre procédé produit peut-être des déchets ne pouvant être traités sur le site et qui devront être transportés à l'extérieur pour traitement et élimination. Il s'agit généralement de liquides non-aqueux, de boues ou de résidus solides.

Les déchets éliminés hors site sont souvent coûteux à transporter et à traiter. La minimisation de tels déchets constituera donc une économie directe.

Mesurez les quantités et notez la composition de tout déchet associé à votre procédé dont l'élimination nécessite une expédition hors site. Inscrivez vos résultats sous forme de tableau (Tableau 8).

Tableau 8 : Déchets à éliminer hors site

Opération élémentaire	Liquides		Boues		Solides	
	Qté	Composition	Qté	Composition	Qté	Composition
Opération élémentaire A						
Opération élémentaire B						
Opération élémentaire C						

Quantités en m³/an ou t/an

Au cours de cette phase de collecte des données, réfléchissez aux questions suivantes :

- D'où proviennent les déchets ?
- Les opérations de fabrication pourraient-elles être optimisées de façon à produire moins de déchets ?
- Pourrait-on utiliser des matières premières alternatives qui produiraient moins de déchets ?
- Y a-t-il un composant particulier qui rend dangereux l'ensemble des déchets ? Pourrait-on isoler ce composant ?
- Les déchets contiennent-ils des matériaux valorisables ?

Avant d'être expédiés à l'extérieur, les déchets à éliminer hors site nécessitent un stockage sur site. Le stockage de ces déchets provoque-t-il des problèmes supplémentaires d'émissions ? Les solvants sont-ils par exemple stockés dans des cuves fermées ? Pendant combien de temps les déchets restent-ils stockés sur le site ? Les stocks de déchets solides sont-ils protégés ou bien des envols de poussière se produisent-ils fréquemment ?

Résumé des Etapes 7, 8, 9 et 10

A la fin de l'Etape 10, l'équipe d'audit devra avoir recueilli toutes les informations nécessaires à l'évaluation d'un bilan-matières pour chacune des opérations élémentaires et pour l'ensemble du procédé.

Tous les déchets réels et potentiels auront été quantifiés. Lorsque des mesures directes se sont avérées impossibles, des estimations auront été effectuées sur la base d'informations stoechiométriques.

Les données seront disposées sous forme de tableaux clairs avec des unités standardisées. Pendant toute la phase de collecte des données, les inspecteurs auront pris des notes sur les actions, procédures et opérations susceptibles d'être améliorées.

Etape 11 : Regroupement des données d'entrée et de sortie des opérations élémentaires

L'une des lois fondamentales appliquées en génie chimique est celle du bilan-matières. Elle énonce que le total de ce qui rentre dans un processus industriel doit être égal au total de ce qui en sort. Etablissez votre bilan-matières selon une échelle adaptée au niveau de détail nécessaire à votre étude. Il se peut par exemple que vous ayez besoin d'un bilan-matières pour chacune des opérations élémentaires, ou bien qu'un seul bilan pour l'ensemble du procédé soit suffisant. Vous trouverez plus loin dans ce manuel une illustration de la préparation d'un bilan-matières à l'échelle d'une opération élémentaire.

La réalisation d'un bilan-matières est destinée à acquérir une meilleure compréhension des entrées et des sorties, notamment de déchets, concernant une opération élémentaire, de manière à pouvoir identifier les zones où les informations sont soit imprécises soit manquantes. Des déséquilibres ressortant du bilan nécessiteront un examen plus approfondi. Ne vous attendez pas à obtenir un bilan parfaitement équilibré - votre bilan initial doit être considéré comme une évaluation approximative restant à affiner et à améliorer.

Regroupez les informations d'entrée et de sortie pour chaque opération élémentaire, puis décidez s'il faudra inclure la totalité de ces entrées et sorties dans le bilan-matières. Ceci n'est pas indispensable par exemple lorsque les entrées en eau de refroidissement sont égales aux sorties d'eau de refroidissement.

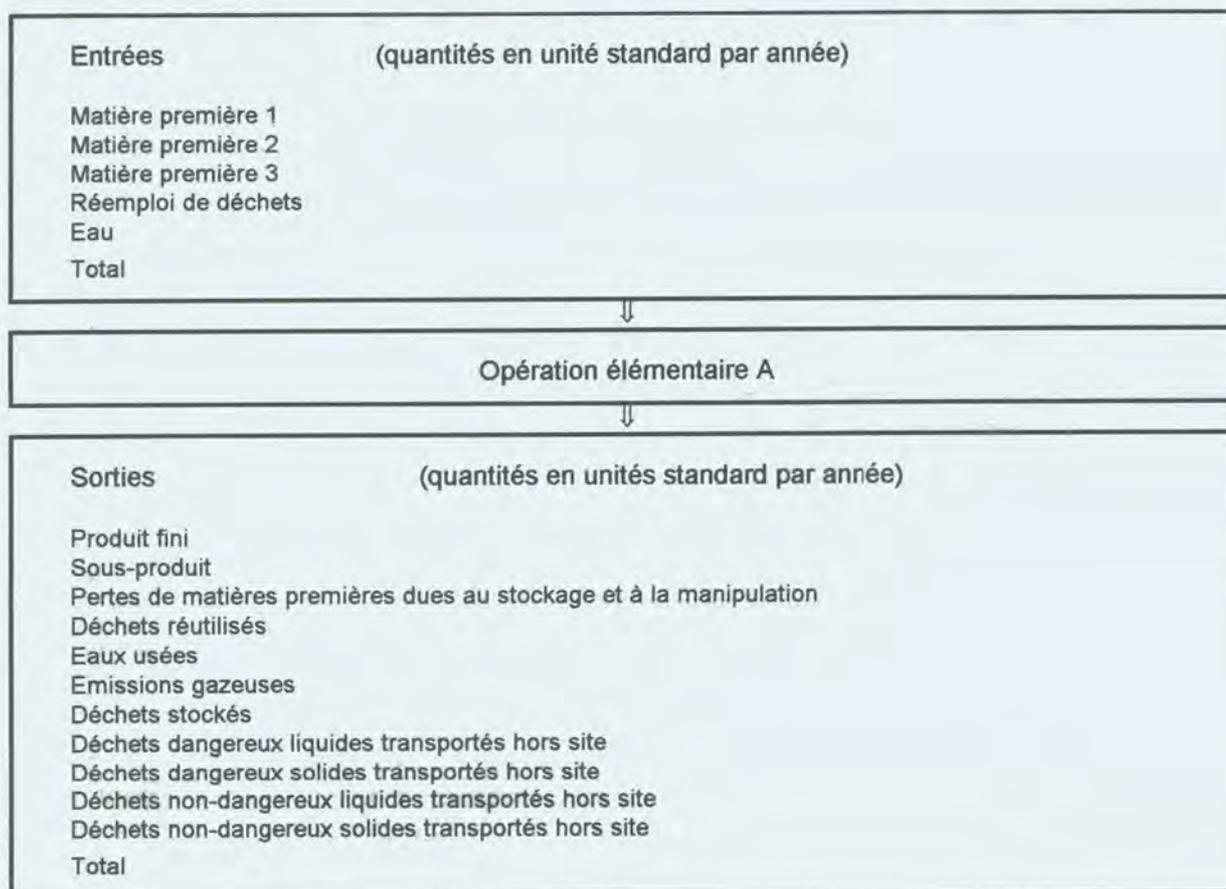
Standardisez toutes les unités de mesure (litres, tonnes ou kilogrammes) sur une base journalière, annuelle, ou par lot.

Résumez les valeurs mesurées en unité standard en vous reportant à votre diagramme de fabrication. Il pourra s'avérer nécessaire de modifier ce diagramme suite à votre étude approfondie de l'usine.

Etape 12 : Etablissement d'un bilan-matières préliminaire pour les opérations élémentaires

Il vous est désormais possible de finaliser un bilan-matières préliminaire. Pour chacune des opérations élémentaires, utilisez les données acquises au cours des étapes 1-10 et élaborer votre bilan-matières. Disposez clairement vos informations. La Figure 3 illustre l'une des façons de présenter les données du bilan-matières.

Figure 3 : Bilan-matières préliminaire pour chaque opération élémentaire



Il est à noter qu'un bilan de masse doit souvent s'établir en unités pondérales car les volumes ne restent pas toujours stables.

Une fois terminé le bilan-matières pour les entrées de matières premières et les sorties de déchets, il pourra s'avérer utile de répéter la procédure pour chacun des contaminants concernés. Il est fortement souhaitable d'établir un bilan d'eau pour toutes les entrées et les sorties d'eau relatives aux opérations élémentaires car les déséquilibres révélés par un bilan d'eau peuvent mettre en évidence de graves problèmes sous-jacents au sein du processus, tels que des fuites ou des épandages. On fera la somme des bilans de matières individuels pour obtenir le bilan de l'ensemble du procédé, d'une zone de production ou de l'usine.

Etape 13 : Evaluation du bilan-matières

Les totaux individuels et globaux constituant le bilan-matières devront être examinés afin de déterminer les lacunes et les imprécisions dans les informations. Si vous obtenez un bilan vraiment très déséquilibré, un examen plus approfondi s'imposera. Par exemple, si les sorties sont inférieures aux entrées, recherchez des pertes potentielles ou des rejets de déchets (évaporation, par exemple). Des sorties supérieures aux entrées peuvent résulter d'erreurs importantes de mesure ou d'estimation ou bien encore de l'oubli de certaines entrées.

Il vous faudra à ce stade prendre le temps de réexaminer les opérations élémentaires pour tenter d'identifier les endroits où pourraient se produire des pertes passées inaperçues. Il pourra s'avérer nécessaire de recommander certaines activités de collecte des données.

Souvenez-vous qu'il est essentiel d'être minutieux et rigoureux si l'on veut obtenir un bilan-matières satisfaisant. En effet, ce bilan-matières reflète non seulement la justesse de vos données mais il garantit en outre, de par sa nature même, que vous possédez une bonne compréhension des procédés concernés.

Etape 14 : Affinage du bilan-matières

Vous pouvez maintenant réexaminer l'équation du bilan-matières en y ajoutant les facteurs supplémentaires identifiés dans l'étape précédente. Il faudra, si nécessaire, effectuer un calcul estimatif des pertes inexplicables.

Il est à noter que, dans le cas d'usines de fabrication simple, la préparation du bilan-matières et son affinage (Etapes 13 et 14) pourront aisément être associés. Par contre, dans le cas d'audits de déchets plus complexes, il sera probablement plus pratique de procéder en deux étapes distinctes.

Rappelez-vous que l'idéal, c'est que les entrées soient égales aux sorties. Néanmoins, ceci sera rarement le cas dans la pratique et il conviendra de faire preuve d'un certain discernement pour déterminer quel est le niveau de précision acceptable.

Dans le cas de déchets dangereux ou à haute résistance, des mesures précises seront nécessaires pour mettre au point des options de réduction des déchets.

Il est possible que le bilan-matières doive être répété pour un certain nombre d'opérations élémentaires. Là encore, continuez à examiner, à affiner et si besoin à élargir votre base de données. La compilation de données précises et complètes est essentielle au succès d'un audit de déchets et au plan d'action ultérieur de réduction des déchets. En effet, on ne peut pas réduire des quantités de déchets si l'on ne sait pas même qu'ils existent.

Résumé des Etapes 11, 12, 13 et 14

A la fin de l'Etape 14, vous aurez rassemblé toutes les informations concernant les entrées et sorties de processus. Ces données auront été organisées et présentées clairement sous forme de bilans de matières pour chacune des opérations élémentaires.

Ces données constituent la base du développement d'un plan d'action destiné à minimiser les déchets.

PHASE 3 : SYNTHÈSE

Les Phases 1 et 2 concernaient la planification et la réalisation d'un audit de déchets, aboutissant à l'élaboration d'un bilan-matières pour chaque opération élémentaire.

La Phase 3 représente l'interprétation du bilan-matières afin d'identifier les zones ou les composantes du processus concerné.

Le bilan-matières permet à l'inspecteur de focaliser sa réflexion. L'organisation des données d'entrée et de sortie sous forme de bilan-matières facilite la compréhension des flux de matières dans l'ensemble d'un procédé de fabrication.

Il est indispensable pour interpréter un bilan-matières d'avoir une bonne compréhension du fonctionnement normal d'exploitation. Comment pourriez-vous en effet évaluer si une opération élémentaire fonctionne de manière efficace si vous ne savez pas ce qu'est le fonctionnement normal ? L'un des membres de l'équipe d'audit au moins doit avoir de bonnes connaissances pratiques sur le processus. Ces connaissances seront étayées par des documents de référence tels que le texte de l'OMS intitulé "Évaluation Rapide des Sources de Pollution de l'Air, des Sols et de l'Eau" (OMS, 1982).

Un bilan-matières indiquera à un œil entraîné les zones préoccupantes et l'orientera pour définir des priorités parmi les déchets problématiques.

Servez-vous du bilan-matières pour mettre en évidence les principales sources de déchets, pour rechercher des écarts par rapport à la norme en termes de production des déchets, pour identifier des zones de pertes inexplicables, et pour repérer les opérations contribuant à des flux qui dépassent la réglementation nationale ou locale sur les rejets. L'efficacité d'un procédé industriel est synonyme de minimisation des déchets.

Les différentes mesures de réduction des déchets nécessitent des niveaux variables d'effort, de temps et de moyens financiers. Elles peuvent se classer en deux catégories.

- Les mesures évidentes de réduction des déchets. Il s'agit par exemple d'améliorations des techniques de gestion et des procédures de nettoyage, pouvant être mises en place rapidement et à peu de frais.
- Les mesures à long terme de réduction des déchets comportant des modifications ou des substitutions de procédé destinées à éliminer les déchets problématiques.

L'accroissement du réemploi/recyclage, permettant de réduire les gisements de déchets, s'inscrit dans le cadre des mesures immédiates et significatives de réduction des déchets.

Les Etapes 15, 16 et 17 décrivent la manière de procéder pour identifier des mesures de réduction des déchets.

Etape 15 : Etude des mesures évidentes de réduction des déchets

Certaines mesures particulièrement évidentes de réduction des déchets auront déjà éventuellement été mises en place, avant même de démarrer l'étude du bilan-matières (Cf. Etape 3). Quoi qu'il soit, étudiez maintenant les informations contenues dans votre bilan-matières en conjonction avec les observations visuelles notées pendant toute la durée de la collecte des données. Cette démarche vous permettra de repérer les zones ou les opérations où il suffirait d'effectuer de simples mises au point de procédure pour améliorer fortement l'efficacité du procédé en réduisant les pertes inutiles.

Servez-vous des renseignements recueillis sur chaque opération élémentaire pour développer de meilleures pratiques d'exploitation dans toutes les unités de production.

Il est souvent possible de réaliser des réductions importantes de déchets en améliorant le fonctionnement et la manutention, et en règle générale en faisant plus attention aux procédures. Les conseils de réduction des déchets donnés dans la liste ci-dessous peuvent être immédiatement mis en place à peu de frais, voire aucun.

Spécification et commande de matériaux

- Ne pas commander des matériaux en surnombre, notamment s'il s'agit de matières premières ou de composants qui sont difficiles à stocker ou qui se dégradent rapidement.
- Essayer d'acheter les matières premières sous une forme facile à manipuler, par exemple des granulés au lieu de poudre.
- Il est souvent plus efficace et en tout cas plus rentable d'acheter en vrac.

Réception des matériaux

- Exiger un contrôle de qualité de la part des fournisseurs en refusant les conteneurs endommagés, non étiquetés ou non-étanches. Effectuer une inspection visuelle de tous les matériaux livrés arrivant sur le site.
- Vérifier que les sacs pèsent bien ce qu'ils sont sensés peser et que le volume commandé correspond au volume livré.
- Vérifier que la composition et la qualité sont correctes.

Stockage des matériaux

- Installer des jauges de niveaux sur les réservoirs de stockage pour éviter les débordements.
- Installer des cuvettes de rétention autour des réservoirs pour confiner les fuites.
- Utiliser des réservoirs pouvant être inclinés ou surélevés, avec des bords arrondis pour faciliter la purge et le rinçage.
- Les réservoirs spécialisés ne recevant qu'un seul type de matériau, nécessitent un lavage moins fréquent.
- S'assurer que le rangement des fûts stockés est stable pour éviter qu'ils soient endommagés pendant le stockage.
- Mettre en place une procédure de contrôle des réservoirs - vérifier régulièrement le contenu des réservoirs et documenter la procédure pour éviter qu'un matériau soit déchargé par erreur dans le mauvais réservoir.
- Les pertes par évaporation sont facilement réduites en utilisant des réservoirs couverts ou fermés.

Transfert et manutention d'eau et de matériaux

- Minimiser le nombre des opérations de transfert des matériaux sur le site.
- Contrôler les canalisations de transfert pour vérifier les fuites et les déversements accidentels.
- Les tuyauteries flexibles sont-elles trop longues ?
- Récupérer les écoulements provenant des tuyaux de transfert.
- Colmater les fuites et installer des limiteurs de débit pour réduire la consommation d'eau.

Gestion du processus

- Un retour d'information sur les améliorations apportées à l'efficacité du procédé par la réduction des déchets, est motivant pour les opérateurs - il est vital que les employés soient informés des objectifs visés et du pourquoi des actions mises en oeuvre.
- Elaborer un programme de surveillance pour contrôler les émissions et les déchets issus de chaque opération élémentaire.
- L'entretien régulier de tous les équipements permet de réduire les pertes fugitives en cours de processus.

Procédures de nettoyage

- Minimiser la quantité d'eau utilisée pour laver et rincer les cuves - dans beaucoup d'usines, une consommation immodérée d'eau lors des lavages concourt à produire des flux considérables d'eaux usées. Equiper les tuyaux de robinets à fermeture automatique pour éviter qu'ils ne continuent à couler inutilement.
- Etudier les possibilités de confiner l'eau de rinçage pour la réutiliser avant de l'évacuer dans les canalisations. La même démarche sera applicable pour les solvants employés lors du nettoyage, qui peuvent être utilisés plus d'une seule fois.

Un contrôle plus strict des procédures de nettoyage peut réduire considérablement la production de déchets. Des mises au point toutes simples et immédiates doivent être apportées au procédé pour parvenir à une amélioration rapide de son efficacité. Lorsque ces premières mesures évidentes de réduction des déchets ne sont pas suffisantes pour régler entièrement l'ensemble du problème d'élimination, il faudra bien entendu approfondir l'étude des autres alternatives possibles (Etapas 16-18).

Etape 16 : Ciblage et caractérisation des déchets problématiques

Servez-vous du bilan-matières pour localiser les zones problématiques associées à votre procédé.

L'étude conduisant au bilan-matières aura peut-être mis en évidence l'origine de déchets entraînant des coûts élevés de traitement, ou bien elle aura parfois indiqué quels déchets posent des problèmes de production et dans quelles opérations. Utilisez le bilan-matières pour focaliser vos priorités en vue d'une réduction à long terme des déchets.

A ce stade, il pourra s'avérer utile d'examiner les causes sous-jacentes : c'est à dire, pourquoi ces déchets sont-ils générés et quels sont les facteurs responsables ? Il peut s'agir par exemple d'une mauvaise technologie, d'un manque d'entretien ou encore d'une non-conformité aux procédures de l'entreprise.

Il sera parfois nécessaire également de prélever des échantillons supplémentaires pour caractériser vos déchets, et de procéder à des analyses plus approfondies pour déterminer les concentrations exactes de contaminants.

Dressez une liste des déchets devant faire l'objet d'une réduction dans un ordre décroissant de priorité.

Etape 17 : Tri des déchets

On pourrait avancer que le tri des déchets ne constitue pas en soi une étape de la séquence d'un audit de déchets, car il n'est qu'une mesure parmi d'autres aboutissant à des actions de réduction des déchets. Néanmoins, le tri reste la plus centrale des options possibles et représente une question universelle qu'il convient d'aborder.

Le tri des déchets peut offrir de meilleures possibilités de recyclage et de réemploi résultant en une économie de matières premières. En outre, des déchets simples concentrés seront plus susceptibles d'être valorisables que des déchets dilués ou complexes.

Par ailleurs, les mélanges de déchets peuvent accentuer les problèmes de pollution. Le mélange d'un déchet fortement concentré avec une grande quantité d'effluents relativement peu contaminés aboutit à un volume plus grand de déchets nécessitant un traitement. On pourra donc réduire les coûts de traitement en isolant un déchet concentré des autres déchets plus faiblement contaminés. Le déchet concentré, s'il n'est pas recyclé ou réutilisé, devra subir un traitement biologique ou physico-chimique pour être conforme aux concentrations admissibles de rejet. L'effluent plus faible pourra lui aussi être réutilisé, mais son rejet pourra s'effectuer après une simple décantation.

Le tri des déchets peut donc élargir le champ des possibilités de recyclage et de réutilisation, tout en diminuant les coûts de traitement.

Examinez vos installations de collecte et de stockage des déchets pour déterminer si un tri est possible. Ajustez votre liste de déchets prioritaires en conséquence.

Etape 18 : Elaboration d'options à long terme de réduction des déchets

Les problèmes de déchets qui ne peuvent se résoudre à l'aide de simples réajustement de procédure ou d'amélioration des pratiques d'entretien, exigeront des changements à long terme plus substantiels.

Différentes options de prévention devront être développées pour régler ces problèmes de déchets.

Parmi les modifications de procédé ou de production permettant d'accroître la productivité et de réduire la génération de déchets, on peut citer les suivantes :

- modifications dans le procédé de fabrication - continu/par lot,

- modifications des équipements et des installations,
- modifications de la gestion du procédé - automatisation,
- modifications des conditions du procédé, par exemple temps de séjour, températures, agitation, pression, catalyseurs,
- usage de dispersants dans la mesure du possible au lieu des solvants organiques,
- réduction des quantités ou changement du type de matières premières utilisées dans la production,
- substitution de matières premières grâce au réemploi de déchets comme matières premières, ou bien utilisation de matières différentes produisant moins de déchets ou moins de déchets dangereux.
- substitution de procédé en faisant appel aux technologies propres.

La réutilisation des déchets est souvent facile à mettre en oeuvre, à condition que des matériaux d'une pureté suffisante puissent être concentrés ou purifiés. Des technologies comme l'osmose inverse, l'ultrafiltration, l'électrodialyse, la distillation, l'électrolyse et les échanges d'ions peuvent permettre de réutiliser des matériaux et de réduire, sinon éliminer, la nécessité d'un traitement des déchets.

Lorsque le traitement des déchets est nécessaire, diverses technologies peuvent être envisagées. Elles comportent des procédés de traitement physique, chimique et biologique. Dans certains cas, la méthode de traitement permet également de récupérer des matières valorisables qui pourront être réutilisées. Il est possible qu'une autre usine ou une autre industrie puisse utiliser ou bien traiter un déchet que vous ne pouvez traiter vous-même sur le site. Il pourrait être intéressant d'étudier la possibilité de mettre en place une bourse d'échange de déchets qui servirait de structure de base à un partage d'installations de traitement et de réemploi des déchets. La Section Documentation (Chapitre 4) du manuel cite des sources d'informations techniques concernant la récupération, le réemploi, le traitement des déchets et les technologies associées.

Etudier également les possibilités d'amélioration ou de modification des produits susceptibles de générer des produits plus propres et plus respectueux de l'environnement, et ceci pour des produits existants comme pour ceux en cours de développement.

Résumé des Etapes 15, 16, 17 et 18

En fin de l'Etape 18, vous aurez identifié toutes les options de réduction des déchets qui pourraient être mises en oeuvre.

Etape 19 : Evaluation environnementale et économique des options de réduction des déchets

Pour décider quelles options méritent d'être développées afin de formuler un plan d'action de réduction des déchets, chacune d'entre elles devra être envisagée en termes de bénéfices environnementaux et économiques.

a) Evaluation environnementale

Il est souvent considéré comme acquis qu'une réduction des déchets offrira des avantages environnementaux, et c'est généralement le cas. Il existe néanmoins des exceptions à la règle. Par exemple, la réduction d'un déchet particulier peut donner lieu à des déséquilibres de pH ou produire un autre déchet plus difficile à traiter, ce qui se solde alors par un handicap environnemental.

Bien souvent, les bénéfices apparaîtront de manière évidente ; c'est le cas par exemple si on débarrasse un effluent aqueux d'un composant toxique en séparant les déchets pollués, ou encore si l'on modifie le procédé de manière à éviter la production du déchet.

Mais dans certains cas, les bénéfices environnementaux risquent d'être moins tangibles. La création d'un lieu de travail plus propre et plus sain augmentera la productivité, mais cette notion restera difficile à quantifier.

Pour chacune des options possibles, il conviendra de se poser une série de questions.

- Réfléchissez aux effets de chaque option sur le volume et le degré de contamination des déchets de production.
- L'option de réduction des déchets aura-t-elle des "effets croisés" sur les milieux ? Par exemple, la réduction d'une émission gazeuse entraînera-t-elle la production d'un nouveau déchet liquide ?
- L'option modifie-t-elle la toxicité, la dégradabilité ou la capacité au traitement du déchet ?
- L'option utilise-t-elle plus ou moins de ressources non-renouvelables ?
- L'option utilise-t-elle moins d'énergie ?

b) *Evaluation économique*

Il conviendra d'effectuer une analyse économique comparative des options de réduction des déchets et de la situation existante. Lorsque les bénéfices ou les changements ne pourront être quantifiés (par ex. : prévention des accidents, sécurité et santé des travailleurs), il faudra trouver une forme d'évaluation qualitative. Pour ce faire, il est parfois utile de consulter l'avis d'un expert sur la manière de juger un changement.

Les évaluations économiques des options de réduction des déchets devront comporter une comparaison des coûts d'exploitation illustrant les postes où des économies seraient réalisées. A titre d'exemple, une mesure de réduction des déchets qui réduirait la quantité de matières premières perdues dans les canalisations en cours de processus, générerait des économies sur les dépenses en matières premières. Les quantités de déchets solides à transporter hors site pourraient diminuer grâce à une substitution de matières premières ou à des modifications du procédé, ce qui réduirait d'autant les frais de transport et d'élimination des déchets.

Dans de nombreux cas, il conviendra de comparer les coûts de traitement des déchets dans les conditions existantes avec ceux qui seraient liés à l'option considérée.

La taille des installations de traitement et les méthodes de traitement nécessaires pourront se trouver considérablement modifiées par la mise en oeuvre des options de réduction des déchets. Cet aspect doit donc être pris en compte lors de l'évaluation économique.

Calculez les coûts annuels d'exploitation pour le procédé existant, y compris le traitement des déchets, puis estimez les changements qu'ils subiraient avec l'introduction des mesures de réduction des déchets. Dressez un tableau des coûts d'exploitation et de traitement des déchets applicables aux options

existantes et futures de gestion des déchets, puis comparez-les. Le Tableau 9 présente les composantes type à inclure. En outre, s'il existe des bénéfices financiers (par exemple, matériaux ou déchets réutilisés ou recyclés), il faudra alors soustraire ceux-ci du total des coûts d'exploitation ou de traitement des déchets, le cas échéant.

Maintenant que vous avez déterminé les économies probables en termes de coûts annuels d'exploitation et de traitement des déchets associés aux différentes options, réfléchissez aux investissements nécessaires à la mise en oeuvre de chacune d'elles.

L'investissement pourra être évalué en examinant la période d'amortissement pour chaque option. Par période d'amortissement, on entend le temps nécessaire au projet pour amortir l'investissement initial. Une analyse plus approfondie du financement pourra inclure une évaluation du taux interne de retour et de la valeur nette actuelle de l'investissement, en fonction des investissements pratiqués.

L'analyse des risques d'investissement vous permettra d'effectuer un classement des options.

Pour décider quelles options sont viables, prenez en compte les bénéfices environnementaux, les économies en coûts d'exploitation et de traitement des déchets, ainsi que la période d'amortissement des investissements.

Tableau 9 : Coûts annuels d'exploitation et de traitement des déchets

Coûts d'exploitation	Coût annuel
Matière première 1	
Matière première 2	
Eau	
Energie	
Main d'oeuvre	
Entretien	
Administration	
Autre	
Total	

Coûts de traitement des déchets	Coût annuel
Matière première (ex. chaux)	
Matière première (ex. floculant)	
Eau	
Energie	
Mise en décharge des effluents	
Transport	
Elimination hors site	
Main d'oeuvre	
Entretien	
Administration	
Autres (ex. amendes pour violation)	
Total	

Résumé de l'Etape 19

A la fin de l'Etape 19, vous aurez établi une liste des options de réduction des déchets qui sont viables du point de vue environnemental et économique.

Etape 20 : Elaboration et mise en oeuvre d'un plan d'action : réduction des déchets et amélioration de la productivité

Reprenez les mesures immédiates de réduction des déchets identifiées dans l'Etape 15, ainsi que les mesures à long terme qui ont fait l'objet d'une évaluation lors des Etapes 18 et 19. L'ensemble de ces mesures formera la base d'un plan d'action de réduction des déchets. Discutez de vos résultats avec les membres du personnel et développez un plan d'action applicable concrètement.

Préparez le terrain pour votre plan d'action de réduction des déchets. Préalablement à sa mise en application, il conviendra d'expliquer dans quel esprit a été réalisé l'audit de déchets, à savoir que "prévenir, c'est guérir" ou encore "bien-fondé de la prévention des déchets".

Il est indispensable de convaincre ceux qui devront travailler avec les nouvelles procédures, que le passage d'un principe de traitement en aval à une philosophie de prévention en amont est sensé, et qu'il se justifiera en outre par une amélioration de la productivité.

Collez des affiches un peu partout dans l'usine pour souligner l'importance de la réduction des déchets en vue de minimiser les coûts de production et de traitement/élimination des déchets, et le cas échéant d'améliorer les conditions d'hygiène et de sécurité du personnel de l'entreprise

Fixez un calendrier approprié pour le plan d'action prévu. Rappelez-vous qu'il faudra un certain temps pour que le personnel se sente à l'aise dans ce nouveau mode de pensée. Il vaut donc mieux mettre en place les mesures de réduction des déchets lentement mais régulièrement pour laisser à chacun le temps de s'adapter aux changements.

Etablissez un programme de surveillance qui fonctionnera parallèlement au plan d'action de réduction des déchets, afin de pouvoir mesurer concrètement les améliorations réelles apportées à la productivité. Communiquez ces résultats aux employés comme preuve des avantages offerts par une réduction des déchets. Adoptez un système interne d'archivage pour mettre à jour et gérer les données ainsi que pour documenter les bilans-matières et les évaluations sur la réduction.

Au cours des études réalisées pendant l'audit, vous aurez probablement mis en évidence des lacunes ou des incohérences importantes dans les informations. Il est temps maintenant de concentrer votre attention sur ces lacunes et d'explorer les possibilités de développer des données supplémentaires. Peut-être aurez-vous besoin d'une aide extérieure pour ce faire.

Un bon moyen pour inciter à réduire des déchets est de mettre en place un système interne d'affectation des coûts : les procédés créant de gros volumes de déchets ou des déchets difficiles et coûteux à traiter participeront ainsi aux coûts de traitement au prorata de leur responsabilité. Un deuxième moyen de

motivation consiste à récompenser financièrement les efforts individuels de réduction des déchets à l'aide des économies ainsi réalisées.

Les audits de déchets devront être effectués régulièrement - essayez d'élaborer une démarche d'audit spécifique à votre situation, en vous tenant au courant des percées technologiques pouvant éventuellement conduire à une réduction des déchets et au développement de produits "plus propres". Formez les agents de fabrication à des exercices de bilan-matières.

La formation des agents de fabrication à la réalisation d'audits de déchets devra se traduire par une meilleure prise de conscience du personnel. Sans le concours des opérateurs, les actions de réduction de déchets resteront inefficaces ; en effet, ce sont les gens eux-mêmes qui peuvent vraiment faire la différence.

Résumé de l'Etape 20

Préparez le terrain pour le plan d'action de réduction des déchets, en vous assurant que le soutien des cadres supérieurs est acquis à l'audit et à la mise en oeuvre des résultats. Mettez votre plan d'action en oeuvre lentement pour permettre au personnel de s'adapter.

Assurez un contrôle suivi de l'efficacité du procédé.

Communiquez les résultats à votre personnel pour lui montrer les bénéfices directs.

Formez votre personnel à réaliser votre propre audit en vue d'une réduction des déchets.

ETUDE DE CAS 1 : PRODUCTION DE BIÈRE

La Société A exploite une brasserie en Europe occidentale, produisant de la bière en bouteille, en fût et en cuve de vrac. L'essentiel de la production de bière réside dans la transformation et la fermentation du malt et du houblon en présence de sucre ajouté. Des volumes considérables d'eaux usées contenant des concentrations de solides en suspension (SS) à fortes DBO/DCO, sont générés par le lavage des cuves et des matériels associés, entre les différents lots de production.

La Société A est en exploitation depuis environ quatre ans. Durant cette époque, les flux d'eaux usées et les charges polluantes ont augmenté de façon importante avec l'augmentation de la production, ce qui a conduit à un dépassement régulier des limites admissibles de rejet dans les égouts publics (pH 6-10 et 500 mg/l de SS).

L'Agence de bassin a récemment indiqué que les flux de la brasserie pourraient continuer d'être acceptés dans les égouts publics sans autre pré-traitement qu'un éventuel contrôle du pH et un contrôle de bilan flux/charge à une date ultérieure, sachant qu'une décantation primaire et un traitement biologique seront effectués dans une nouvelle unité de la station municipale d'épuration.

Le service des eaux a également fait savoir à la Société A qu'aucun apport de financement à l'aménagement de cette unité ne serait requis, mais qu'un système ordinaire de tarification des effluents industriels serait appliqué, avec des tarifs variant en fonction des variations de flux et de charges polluantes (DCO et SS).

Les coûts actuels de rejets d'effluents industriels s'élèvent à US\$332.000 par an et il est prévu qu'ils augmentent sous peu de 10%. Après un examen des implications vraisemblables de ces augmentations de prix, la société a décidé de faire appel à un cabinet de consultants pour réaliser un audit de déchets et une étude de réduction des déchets, afin de rechercher les possibilités de minimiser ses coûts d'élimination des déchets.

L'étude de cas qui suit, décrit les procédures d'audit/réduction des déchets mises en oeuvre.

PHASE 1 : PRE-EVALUATION

Etape 1 : Focalisation et préparation de l'audit

Deux chimistes appartenant au cabinet de consultants ont été délégués pour réaliser l'inspection nécessaire, assistés au besoin des techniciens brasseurs de la Société A.

Avec le concours de la direction, l'équipe d'audit a tout d'abord organisé un séminaire interne. Ceci a permis de définir des procédures et des objectifs d'étude et de s'assurer la coopération du personnel de production.

Avec l'aide du bureau d'étude de la brasserie, on a ensuite installé un déversoir à échancrure triangulaire dans un regard où se mélange l'ensemble des effluents, afin d'effectuer un suivi continu de l'écoulement à l'aide d'un débitmètre/jauge de niveau à ultrasons couplé à un enregistreur.

Comme on ne disposait pas d'un échantillonneur automatique, il fut décidé que des échantillons composites seraient prélevés quotidiennement en combinant des échantillons prélevés manuellement en proportion des écoulements. Il fut également déterminé que le laboratoire de la brasserie était suffisamment bien équipé pour effectuer les analyses d'eaux usées.

Etant donnée la taille des opérations de brassage ainsi que les contraintes de temps et de budget imposées au projet, il fut décidé que l'étude se concentrerait sur :

- les aspects d'utilisation d'eau (plutôt que d'essayer d'obtenir un bilan-matières complet),
- la recherche de méthodes permettant de réduire les charges de DCO/SS rejetées à l'égout.

Afin de mettre en perspective les opérations de brassage du point de vue de la gestion des déchets, un contrôle préliminaire fut effectué sur la quantité d'eaux usées et de charges polluantes rejetées par mètre cube de bière produite, sur la base d'un historique de consommation d'eau et des données de production, associé à quelques informations assez limitées sur la charge des eaux usées.

Ces études préliminaires ont permis de conclure qu'en règle générale la brasserie fonctionnait avec un très faible niveau de gaspillage d'eau, la plupart des sous-produits ou déchets valorisables étant déjà recyclés ou bien récupérés pour une élimination hors site. Ces aspects avaient été initialement pris en compte dans la conception de la brasserie et il était évident que ces efforts avaient été payants en matière de réduction des volumes de déchets et de charges polluantes rejetés. Néanmoins, il fut jugé qu'il restait encore une marge de manoeuvre pour mettre en place des mesures supplémentaires de minimisation des déchets.

Le succès des mesures déjà mises en place est illustré par le tableau suivant :

Tableau 1 : Répartition des déchets issus de la production de bière

	Société A	Brasserie type (a)	Brasserie ancienne (b)
Flux d'eaux usées (m ³ /m ³ de bière)	2	7	-
Charge DBO (kg/m ³ de bière)	4.1	4.5	7.5

(a) Selon les expériences passées du cabinet de consultant

(b) Selon des données publiées par l'OMS, 1982

Un facteur supplémentaire jouait en faveur de la Société A, à savoir que la plus grande partie de sa bière est transportée en camion-citerne plutôt qu'en tonneaux ou en bouteilles : ces derniers donnent lieu en effet à une production plus importante de déchets. Ceci simplifie l'exploitation de la brasserie et permet un fonctionnement à la fois plus efficace et plus économique en termes de consommation d'eau.

Etape 2 : Liste des opérations élémentaires

L'équipe a démarré son programme d'audit/réduction des déchets en se familiarisant avec les différentes étapes de la production. Ceci fut accompli en visitant l'usine avec les brasseurs et en recueillant les informations pertinentes dans les archives des divers services. La quantité de données collectées était si importante qu'il s'avéra nécessaire d'ouvrir un dossier pour chacune des zones-clé de la brasserie.

Le Tableau 2 présente une liste des différentes opérations élémentaires.

Tableau 2 : Principales opérations élémentaires et descriptif sommaire fonctionnel

Opération élémentaire	Descriptif fonctionnel	N° Dossier
Salle de brassage	Transformation du malt, houblon et sucre pour production de moût	1
Fermentation	Fermentation du moût refroidi	2
Traitement du produit	Centrifugation, filtrage, carbonatation, coloration, raffinage final et pasteurisation	3
Expédition	Mise en bouteille ou en tonneau, remplissage des citernes	4

Etape 3 : Elaboration de diagrammes de fabrication

Un diagramme fut ensuite schématisé pour illustrer les diverses opérations élémentaires au sein de la brasserie (Figure 1).

Une fois identifiées et décrites toutes les opérations élémentaires, l'équipe d'audit a poursuivi ses travaux en recueillant des données concernant l'utilisation d'eau, les écoulements d'eaux usées et la récupération des déchets.

PHASE 2 : BILAN-MATIERES : ENTREES ET SORTIES DE PROCESSUS

Etape 4 : Détermination des entrées

L'équipe d'audit a d'abord procédé à une collecte de données sur les entrées de matériaux, en se concentrant sur l'utilisation d'eau aussi bien pour l'ensemble du procédé de brassage que pour les opérations individuelles. Ces travaux sont décrits plus bas dans l'Etape 5.

Etape 5 : Relevé de la consommation d'eau

Les compteurs d'eau pour les trois mois précédents indiquaient une consommation totale d'eau de 247.500 m³, soit une moyenne de 2.750 m³/jour.

Ce volume tient compte d'une petite consommation à usage domestique, d'eau d'appoint pour compenser l'évaporation et de l'eau entrant dans la fabrication de la bière, ainsi que de l'eau de lavage utilisée au nettoyage des équipements.

L'équipe d'audit a procédé ensuite à un examen de la manière dont se répartit la consommation d'eau entre les diverses opérations élémentaires.

Etape 6 : Mesure des niveaux actuels de réemploi/recyclage des déchets

Au cours de l'audit, aucune tentative n'a été faite pour quantifier l'importance du réemploi/recyclage de déchets à l'époque, car il fut estimé que cette procédure aurait requis un investissement de temps peu rentable au vu des bénéfices restreints qu'on en aurait vraisemblablement tirés.

Il fut toutefois constaté que le réemploi des agents de rinçage caustique et stérilisateurs après le rejet à l'égout des eaux de rinçage initial faisait généralement partie intégrante du système automatique de lavage sur place (LSP) employé pour le nettoyage des matériels.

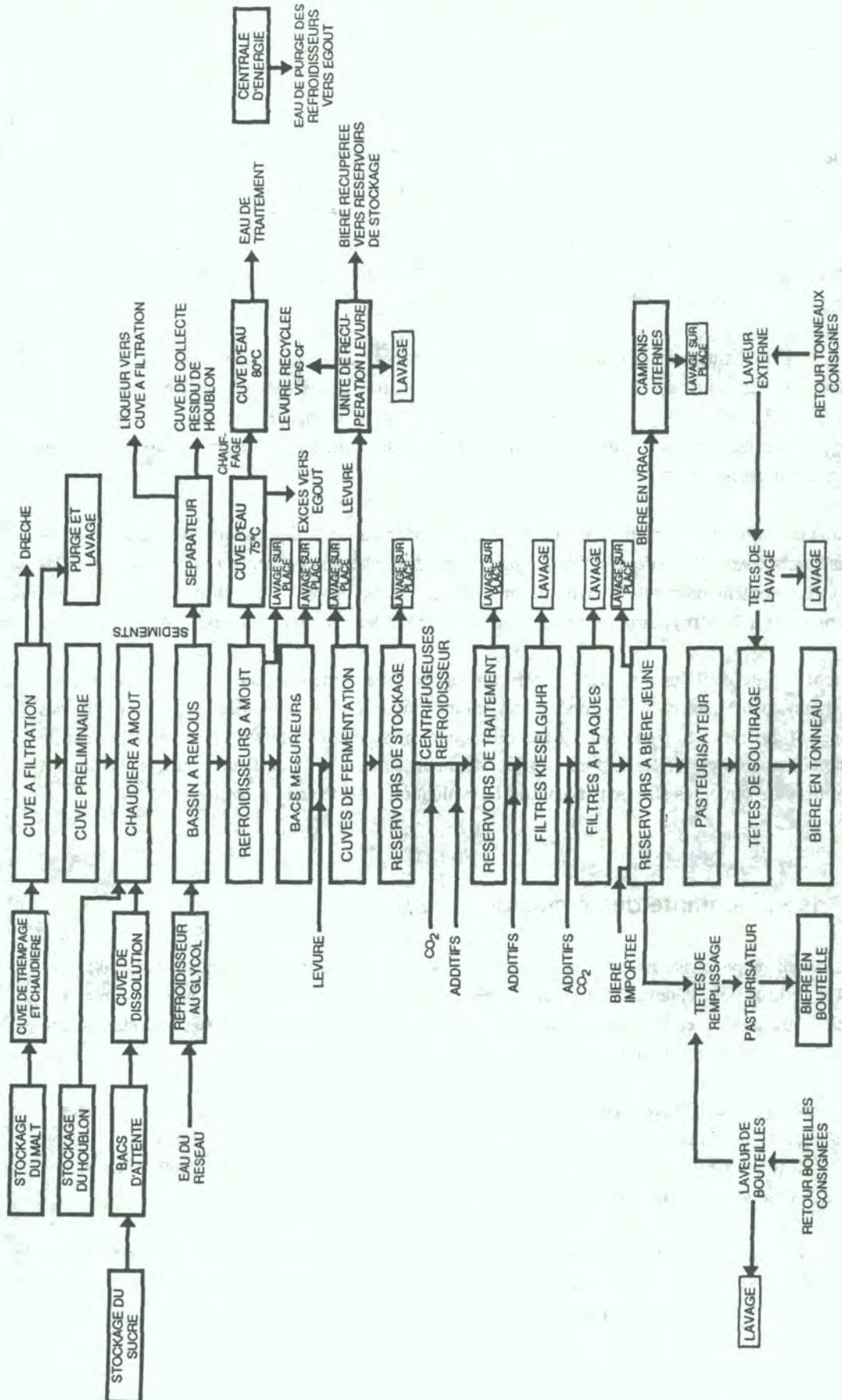
Etape 7 : Quantification des sorties de processus

Outre la bière elle-même, l'essentiel des sorties de processus consistait en rejets d'eaux usées découlant des opérations de fabrication.

Il fut également noté qu'une proportion mineure d'eau domestique se déversaient dans le même réseau d'évacuation que les effluents du procédé de brassage.

L'équipe d'audit procéda ensuite à la quantification de ces sorties.

Figure 1 : Diagramme global des opérations de brasserie



Etape 8 : Prise en compte des eaux usées

La moyenne de l'ensemble des flux d'eaux usées fut mesurée à 1.730 m³/j sur une période de surveillance de deux semaines. On releva toutefois, sur la base des configurations d'écoulement observées quotidiennement, que les rejets d'eaux usées étaient extrêmement variables, avec un débit de pointe s'élevant à 100 m³/h survenant au moment des déversements du trop-plein des réservoirs à eau chaude. En se fondant sur cette observation et sur quelques autres hypothèses, l'équipe d'audit parvint à l'estimation que le flux maximum en un jour quelconque pouvait atteindre 2.600 m³/j.

Le total des charges polluantes correspondantes dans les eaux usées étaient en moyenne de 5.980 kg DCO/j et de 1.500 kg SS/j. Ces chiffres étaient équivalents aux quantités de déchets par mètre cube de bière produite, c'est à dire 2,1 m³, 7,1 kg DCO et 1,8 kg SS. Compte tenu d'un rapport moyen DCO/DBO de 1,7, ces apports en flux d'eaux usées et en charge DBO par unité se sont donc avérés similaires aux estimations approximatives calculées à l'Etape 1.

L'équipe effectua en outre une estimation de la consommation d'eau à usage domestique, obtenant ainsi une estimation des rejets d'eau domestique dans le système de drainage des effluents industriels. Selon les calculs, ces sorties supplémentaires formaient en moyenne une quantité totale de 850 m³/j dont seulement 10 m³/j (140 employés à 70 litres par personne par jour) concernait les eaux usées domestiques.

Des études furent ensuite réalisées pour déterminer la répartition des principales sorties de processus (eaux usées et produits) pour chacune des opérations élémentaires clé. Ces études ont comporté des échantillonnages et des mesures d'écoulement des différents rejets autour de la brasserie. Le volume et la composition de certains de ces rejets varient considérablement selon le type de bière produite, l'étude fut entreprise sur plusieurs semaines afin de parvenir à une évaluation réaliste de la situation.

Etape 9 : Prise en compte des émissions gazeuses

Les émissions gazeuses ne constituaient pas une préoccupation majeure dans le contexte des références établies par la Société A pour l'audit. Il fut en effet constaté que les chaudières étaient chauffées au gaz et que les émissions de gaz de combustion, rejetées à l'atmosphère via une cheminée élevée, étaient peu susceptibles de donner lieu à des inquiétudes.

Il fut en outre noté que, dans l'éventualité où un contrôle des rejets d'eaux usées alcalines associées à l'emploi de soude caustique dans les systèmes LSP de lavage s'avérerait nécessaire à l'avenir (dans le cas où les rejets d'eaux alcalines ne pourraient être contrôlés à la source), l'emploi de gaz de combustion acides (source de gaz carbonique) pourrait être envisagé à ces fins.

L'équipe d'audit constata par ailleurs que des poches de gaz carbonique dans les zones de fermentation pourraient poser des problèmes de somnolence parmi les employés, et suggéra qu'une meilleure ventilation permettrait d'améliorer les conditions globales d'hygiène et de sécurité.

Etape 10 : Prise en compte des déchets éliminés hors-site

A l'époque de l'étude, les déchets destinés à être transportés et éliminés hors site se limitaient à la drêche de malt et de houblon, sous-produits générés dans la salle de brassage. Ces résidus étaient éliminés hors site, sans occasionner de frais pour la brasserie, chez un agriculteur local qui les utilisait respectivement comme aliment du bétail et amendement organique. Les quantités totales furent estimées à quelques 25.000 tonnes par an (poids humide).

Etape 11 : Regroupement des données d'entrée et de sortie sur les opérations élémentaires

Comme indiqué précédemment, l'intérêt primordial de ce programme d'audit et de réduction des déchets était de se concentrer sur le potentiel de réduction des eaux usées et des charges polluantes associées.

Par conséquent, aux fins du projet en question, le bilan-matières se limita à la prise en compte des seuls sujets relatifs à l'eau.

Etape 12 : Etablissement d'un bilan-matières préliminaire pour les opérations élémentaires

Il fut décidé de réaliser un bilan-matières préliminaire pour l'ensemble de la brasserie, fondé sur la consommation d'eau, avant de se lancer dans la tâche plus complexe d'obtenir un bilan pour chacune des opérations clé. Ce bilan fut ensuite reconstitué comme l'indique le tableau ci-dessous.

Entrées	m ³ /j
Eau	2.750
↓	
Opérations globales de brassage	
↓	
Sorties	m ³ /j
Effluents domestiques	10
Produit	840
Eaux usées	1.730
Total	2.580

Etape 13 : Evaluation du bilan-matières

Le bilan-matières relatif à la consommation globale d'eau s'est avéré remarquablement bien équilibré, avec une consommation moyenne d'eau en entrée supérieure de 6,6% seulement par rapport aux sorties journalières.

Bien que les matières premières comme le malt, le houblon, le sucre, les additifs et autres produits chimiques éliminés hors site, n'aient pas été inclus dans le bilan-matières, il fut noté que ces éléments représentaient des quantités relativement faibles dans le cas des brasseries où l'eau constitue la matière première prédominante.

Etape 14 : Affinage du bilan-matières

En étudiant les données recueillies, on constata qu'aucune marge n'avait été prévue dans le bilan-matières pour tenir compte de l'évaporation. En effet, selon l'expérience préalable du consultant, l'évaporation dans les brasseries pouvait représenter jusqu'à 5% de la consommation totale d'eau. Cette marge compensait donc bien la petite différence entre les entrées et les sorties d'eau constatée dans l'Etape 13.

L'équipe d'audit procéda ensuite à l'établissement des bilans de matières pour toutes les principales opérations élémentaires dans la brasserie. Une fois ces travaux achevés, l'équipe estima avoir acquis une somme importante de connaissances sur les diverses activités de production, leurs entrées et leurs sorties, les déchets et les problèmes opérationnels.

PHASE 3 : SYNTHÈSE

Etape 15 : Examen des mesures évidentes de réduction des déchets

L'équipe d'audit jugea que les coûts d'élimination des eaux usées de la brasserie pouvaient être minimisés de deux manières :

- réduction du volume, de la DBO* et/ou de la charge en SS produits dans la brasserie ;
- réduction de la DBO* et/ou de la charge en SS des eaux usées rejetées à l'égout après pré-traitement.

(* ou plutôt de la DCO, selon la formule de l'Agence de Bassin)

A la lumière d'un examen approfondi des zones génératrices de déchets, il fut possible d'étudier ces deux alternatives. Pour faciliter la réflexion sur les possibilités de minimisation des déchets, on se reporta aux sources d'informations disponibles (y compris la base de données), ainsi qu'à l'expérience professionnelle vécue par le consultant lors de projets similaires.

Les différentes sections de la brasserie furent étudiées successivement comme suit :

a) *Salle de brassage*

Les deux rejets principaux de la salle de brassage étaient le siphon des cuves à filtration et un trop-plein des cuve d'eau chaude à 75°C. L'ensemble de ces deux rejets constituait 12% du flux global d'eaux usées de la brasserie.

Un étude du flux et des données analytiques obtenues indiqua que l'apport du siphon des cuves à filtration s'élevait à 3,5% des écoulements, 23% de la DCO et 4% de la charge en SS. Des discussions avec l'entreprise indiquèrent qu'il devrait être possible de stocker ce flux d'eaux usées pour le réutiliser comme eau d'appoint pour le brassin suivant, et que ceci pourrait se faire sans altérer les normes de brassage. L'installation d'une cuve de stockage de 15 m³, munie des pompes, vannes et tuyauteries associées, offrirait les avantages suivants :

- réduction des coûts d'alimentation en eau fraîche ;
- élimination des coûts précédemment encourus pour le traitement de ces effluents ;
- réduction des besoins énergétiques puisqu'il n'était pas nécessaire de chauffer la liqueur recyclée comme eau d'appoint ;
- élimination des rejets de charge par à-coups issus de cette source, éliminant ainsi la nécessité d'un bilan flux/charge des flux globaux d'eaux usées du site.

Le trop-plein des cuves à eau chaude constituait près de 9% des écoulements globaux d'eaux usées. Cette eau étant propre et chaude, une réutilisation en continue était une alternative évidente. Malheureusement, celle-ci s'est avérée impossible en raison du caractère irrégulier de la production de cette eau.

Néanmoins, étant donnée la grande capacité de cette cuve, on envisagea de tirer profit de sa capacité inhérente au réemploi, en soutirant l'eau chaude non pas au point de débordement, mais plutôt à un certain niveau de profondeur dans la cuve elle-même.

La réutilisation de cette eau à 75°C devait de préférence s'effectuer dans un procédé consommant de l'eau chaude selon un débit à peu près identique, c'est à dire 150 m³/j. Le seul procédé dans la brasserie faisant appel à cette quantité d'eau était la machine à pasteuriser dont la consommation d'eau était d'environ 170 m³/j. Cependant, la totalité de ce débit ne correspondait pas uniquement à de l'eau chaude car un gradient constant de température devait être maintenu dans le pasteurisateur pour empêcher les bouteilles de se refroidir ou de se réchauffer trop rapidement.

On estima que l'eau à 75°C devrait être injectée directement dans le pasteurisateur pour remplacer le chauffage d'eau froide à la température requise de 60°C. En outre, l'eau chaude pouvait être mélangée à l'approvisionnement d'eau froide existant, de manière à obtenir le profil de température nécessaire dans l'ensemble du pasteurisateur. Il fut évalué qu'un tel système permettrait de réutiliser un minimum de 75 m³/j du trop-plein d'eau chaude.

b) Cave de fermentation

La majorité des déchets produits dans cette section de la brasserie provenait des systèmes LSP de lavage dont les rejets présentaient des charges DCO élevées dues principalement aux fortes teneurs en levure. A l'exception de l'eau de rinçage final issues des bacs jaugeurs de la phase de pré-fermentation, les concentrations en DCO des eaux de rinçage initial provenant des autres cuves - fermentation, stockage et récupération de levure - dépassaient toutes 6.000 mg/l, et représentaient globalement plus de 90% de la charge en DCO générée dans la cave de fermentation.

Les propositions suivantes furent développées pour réduire/traiter ces rejets.

Bacs jaugeurs

Les possibilités de réduction de la charge polluante issue de cette source d'effluents de lavage étaient restreintes en raison de l'absence à ce stade de toute levure pouvant être filtrée. Ceci étant, l'eau de rinçage final relativement propre réutilisée comme rinçage initial dans le lavage suivant, permettrait d'obtenir pour 8 cuves une réduction totale de 26 m³/j du flux d'effluents à évacuer.

On constata par ailleurs que les eaux du lavage caustique généralement effectué chaque semaine dans la salle de brassage étaient rejetées à l'égout tous les week-ends après une purge de ces bacs jaugeurs, et que cet apport, de même que les rejets d'eaux de lavage acide issues de la chaudière à moue N°2 via une cuve de fermentation (équilibrante), avait un impact majeur sur le pH global des eaux usées, avec des valeurs dépassant fréquemment les taux de 6-10 admissibles pour les rejets aux égouts publics.

Des essais montrèrent que lors d'une évacuation combinée des eaux acides et caustiques, l'effet neutralisant de l'acide sur les eaux caustiques restait négligeable en raison des différences de volume et de puissance, et que l'acide n'arrivait pas à neutraliser la charge caustique prédominante. On envisagea pour résoudre ce problème de fermer le circuit en augmentant la capacité de stockage des cuves, ce qui pouvait être réalisé à l'aide d'un système similaire à celui des unités de lavage sur place existantes et en standardisant ces équipements. Cette approche permettrait de réduire les flux d'effluents évacués, les coûts d'approvisionnement en eau et les coûts du nettoyage chimique.

Cuves de fermentation

La charge produite par l'eau de rinçage initial fut mesurée à 210 kg DCO/j et 150 kg SS/j. Ces chiffres pouvaient être diminués d'au moins 75% en faisant passer l'eau de rinçage dans le presse-levure. On jugea en outre que l'eau de rinçage final des unités LSP pouvait également être réutilisée pour le rinçage initial, réduisant ainsi de 25 m³/j le flux d'effluents issus 8 cuves.

Comme mentionné précédemment, les eaux de lavage acides provenant de la salle de brassage étaient rejetées à partir des cuves de fermentation, abaissant parfois le pH à 2,4. Le confinement et la recirculation via une nouvelle unité LSP furent considérés comme le moyen de contrôle le mieux adapté et le plus pratique.

Cuves de stockage

Les teneurs dans l'eau de rinçage initial dans la séquence LSP furent mesurés à 75 kg DCO/j et 10 kg/SS/j. Selon les estimations, il fut jugé possible de réduire les charges globales issues de cette source à 22 kg DCO/j et 3 kg SS/j, en faisant passer ces eaux de rinçage dans le presse-levure. De plus, le réemploi de l'eau de rinçage final pour le rinçage initial de la séquence suivante permettrait de diminuer le flux d'effluents de 5 m³/j.

Station de récupération de levure

Les rejets issus de l'épuration centrifuge étaient difficiles à évaluer au moment où eurent lieu l'audit et les recherches sur la réduction des déchets. Néanmoins, il apparut évident d'après les observations visuelles, que l'eau de rinçage initial contenait une quantité importante de levure. Il fut donc préconisé de faire également passer ces effluents par un filtre-pressé à levure. Il fut de même proposé de récupérer l'eau de rinçage final et de la réutiliser pour le rinçage initial. Il fut en outre suggéré de filtrer les eaux de rinçage initial provenant des bacs de stockage de levure, par passage dans le presse-levure.

La Société A avait déjà acquis un nouveau presse-levure pour filtrer les jus qui jusqu'à présent restaient stockés en attendant que le presse-levure existant soit disponible. On prévoyait que cette option permettrait de réduire les besoins en stockage, de récupérer une petite quantité de bière (filtrat de presse) et d'éliminer les débordements fréquents des cuves de stockage.

En conséquence, au lieu de traiter séparément chacun des rejets issus de la cave de fermentation ce qui aurait été peu rentable, l'équipe d'audit préconisa d'implanter le nouveau filtre-pressé dans la zone de récupération de levure de manière à pouvoir filtrer les eaux de rinçage initial issues des cuves de fermentation, des bacs de stockage et des équipements de récupération de levure. Ceci éviterait d'une part que la plus grande partie de la levure ne s'évacue dans le siphon, et permettrait d'autre part sa récupération pour vente ultérieure à une industrie alimentaire.

Par ailleurs, tous les autres jus contenant de la levure et devant être rejetés à l'égout, tels que le trop-plein des cuves de stockage, pourraient ainsi être refiltrés pour récupérer la bière et la levure. L'augmentation résultante des flux vers le nouveau filtre-pressé fut estimée à environ 50 m³/j, avec une teneur en SS de 100 kg/j, ce qui correspondait tout à fait à la capacité nominale de cet équipement.

c) Cave de traitement

Un certain nombre d'options de réduction des déchets fut préconisé pour cette zone. Les principales mesures proposées concernaient les zones de mise en bouteilles et en tonneaux. Lors de l'étude de la salle de brassage, on avait déjà mis en évidence la possibilité d'utiliser le trop-plein de la cuve d'eau chaude à 75°C pour approvisionner le pasteurisateur. L'équipe d'audit estima en outre que l'eau s'écoulant en sortie du pasteurisateur pouvait à son tour être réutilisée pour le rinçage initial du rince-bouteilles.

Le système existant de rinçage des bouteilles utilisait 9 m³/j d'eau fraîche désionisée. On proposa de continuer à alimenter les grands tuyaux de rinçage avec de l'eau désionisée, mais d'utiliser l'eau issue du pasteurisateur pour alimenter le reste du circuit ainsi que pour l'appoint continu dans le bac de rinçage final. L'eau du réseau d'alimentation pourrait servir de réserve si pour une raison ou une autre l'écoulement provenant du pasteurisateur se trouvait interrompu.

Dans la zone de mise en tonneaux, la bière retournée à la brasserie étaient périodiquement rejetée à l'égout, provoquant des augmentations importantes des charges en DCO et DBO au cours des périodes de déversement. L'équipe d'audit recommanda à l'entreprise d'étudier sérieusement les possibilités d'une élimination distincte, éventuellement directement sur le sol, comme elle se pratique souvent dans d'autres brasserie. Il fut noté que ceci nécessiterait cependant une autorisation des services de la Régie, et qu'en outre l'opération serait soumise à une obligation de détruire la bière selon un procédé agréé.

Etape 16 : Ciblage et caractérisation des déchets problématiques

Après achèvement de l'Etape 15, l'équipe d'audit s'est rendu compte qu'il était donc possible de réduire considérablement les flux d'eaux usées et les charges polluantes en appliquant les mesures d'amélioration précédemment mises en évidence, qui étaient toutes relativement simples à mettre en oeuvre.

Il fut décidé qu'il serait utile d'obtenir une vue d'ensemble des économies de déchets réalisées. On dressa donc un résumé des contributions apportées par les différentes mesures de réduction des déchets existantes et proposées, telles que définies dans l'Etape 15. Ce résumé est illustré dans le Tableau 3. A ce stade, aucune marge n'était prévue pour prendre en compte les avantages d'une alternative au rejet de la bière retournée dans les égouts, car celle-ci restait contingente à des négociations ultérieures avec les services de la Régie.

Tableau 3 : Résumé des propositions de réduction de déchets

Opération élémentaire	Description du déchet	Composition existante			Recommandation	Composition prévue		
		m ³	kg DCO	kg SS		m ³	kg DCO	kg SS
Cuve de filtration	Ecoulement final à l'égout	60	1392	60	Réutilisation	0	0	0
Cuve d'eau à 75°C	Trop-plein	150	-	-	Réutilisation à 50% pour appoint du pasteurisateur	75	0	0
Bacs salle de brassage	Eaux de lavage caustiques et acides le week-end	36	152	16	Installation d'une unité de LSP	0	0	0
Bacs jaugeurs	Eaux de lavage sur place	26	-	-	Réutilisation eau de rinçage	0	0	0
Bacs à fermentation	Eaux de lavage sur place	65	248	188	Réutilisation et séparation de la levure	40	62	44
Cuves de stockage	Eaux de lavage sur place	17	89	13	Réutilisation des eaux de rinçage et filtrage du rinçage initial	12	22	3
Stockage et récupération levure	Eaux de lavage sur place	2	17	1	Récupération de la levure	2	4	0,2
Pasteurisateur	Eau de traitement	100	-	-	Réutilisation dans le rince-bouteilles	0	0	0
Total		456	1898	278		129	88	47,2

Pour des diminutions correspondant à 327 m³/j en flux, 1.810 kg/j en DCO et 230 kg/j en SS (Cf. Tableau 3), les prévisions établies à l'Etape 8 sur les réductions des rejets globaux d'eaux usées étaient respectivement d'environ 19%, 30% et 15%.

Etape 17 : Tri

Lors de la formulation d'un ensemble de recommandations faciles à mettre en oeuvre pour réutiliser et récupérer les déchets, l'équipe d'audit avait admis dès les premiers stades que la séparation des déchets formerait partie intégrante d'une stratégie de réduction.

Les propositions furent discutées avec la direction qui était en principe d'accord pour admettre que les diverses mesures avancées étaient sensées et praticables, sous réserve que l'équipe puisse démontrer que les économies susceptibles d'en découler à long terme soient significatives.

Etape 18 : Elaboration d'options à long terme de réduction des déchets

Avant les déclarations de la Direction de l'Eau indiquant que l'augmentation de la capacité de traitement de la station d'épuration n'engagerait pas d'apport financier de la part de la Société A, les consultants de la brasserie en matière de gestion des déchets avaient préparé des plans préliminaires pour une station de pré-traitement sur site, fondée sur un contrôle de pH, sur un bilan flux/charge et sur un traitement des boues à l'oxygène.

Cette option compacte de traitement avait été choisie en raison des contraintes de terrain disponible sur le site. Elle présentait l'attrait supplémentaire de réduire les risques d'un développement de boues filamenteuses, difficilement décantables, contrairement aux systèmes classiques de boues activées à l'air employés généralement pour traiter les déchets de brasserie et autres déchets similaires avec une forte teneur en glucides solubles.

Cependant, à la lumière des propositions ultérieures faites par la Direction de l'Eau et d'une étude économique comparative des deux options - rejet des eaux usées non traitées en mélange (ou au pire, après un traitement préliminaire seulement) plus paiement des frais de traitement des effluents industriels, par rapport à un pré-traitement biologique plus paiement des frais moindres pour traitement des effluents industriels -, les projets d'implantation d'une station de pré-traitement sur site furent abandonnés, dans l'attente du résultat de l'audit de déchets et des études de réduction.

L'équipe d'audit jugea que, si les bonnes pratiques d'entretien décrites lors de l'Etape 16 étaient correctement mises en place, et notamment celles liées au réemploi des charges polluantes importantes associées à la purge des cuves de filtration et au contrôle des rejets acides et caustiques, il ne serait alors plus nécessaire d'effectuer ultérieurement des contrôles de pH ou de bilan flux/charge des flux en mélange, pour garantir la conformité avec les normes de rejet.

Etape 19 : Evaluation environnementale et économique des options de réduction des déchets

Sur la base des études de réduction des déchets orientées autour des possibilités de réutilisation/recyclage et de récupération, il apparut clairement que la mise en place des mesures établies précédemment entraînerait une réduction importante de la quantité nette de rejets dans l'environnement. Le bénéfice environnemental était donc manifeste.

L'équipe d'audit établit ensuite sous forme de tableau des estimations des coûts occasionnés par les effluents industriels, avec et sans prise en compte des mesures de réduction proposées (Tableau 4). Ceci permit de mettre en évidence les économies potentielles sur ces coûts.

Tableau 4 : Estimation des coûts des effluents industriels

Unité opérationnelle	Description des déchets	Estimation des coûts actuels US\$/an	Estimation des coûts réduits US\$/an	Estimation des économies de coûts US\$/an
Cuve de filtration	Ecoulement final à l'égout	58.000	0	58.000
Cuve d'eau à 75°C	Trop-plein	7.000	3.500	3.500
Bacs de la salle de brassage	Eaux de lavage caustiques et acides le week-end	7.800	0	7.800
Bacs jaugeurs	Eaux de lavage sur place	1.200	0	1.200
Bacs à fermentation	Eaux de lavage sur place	25.000	7.000	18.000
Cuves de stockage	Eaux de lavage sur place	5.000	1.500	3.500
Stockage et récupération levure	Eaux de lavage sur place	800	200	600
Pasteurisateur	Eau de traitement	4.300	0	4.300
Total		109.100	12.200	96.900

Les coûts des effluents industriels présentés dans le Tableau 4 furent ensuite comparés au coût total prévu pour l'ensemble des eaux usées existantes, estimé à US\$ 365.000 par an pour l'année suivante. Cette comparaison révéla une diminution de 26% résultant de la mise en place des propositions de réduction des flux et charges polluantes.

Sur la base des données établies à l'Etape 16, les flux et charges ainsi réduits seraient en moyenne d'environ 1.400 m³/j, 4.170 kg DCO et 1.270 kg SS. Ces chiffres correspondent à des quantités moyennes de déchets après réduction de 1,7 m³/j, 5 kg DCO et 1,5 kg SS par mètre cube de bière produite.

Un examen complémentaire de l'ensemble des données acquises lors de l'audit indiqua que les flux maximum d'eaux usées et de charges polluantes en une journée quelconque de production pouvait grimper de 70% au dessus des niveaux moyens de rejet. Néanmoins, il fut considéré que l'évaluation des coûts d'effluents industriels, basée sur une moyenne des rejets, offrait une estimation réaliste des économies raisonnablement prévisibles sur une année de production.

L'équipe d'audit estima que, outre les économies de coûts sur les effluents, les propositions présenteraient d'autres bénéfices économiques, plus difficiles à quantifier en fonction de l'échelle de temps, mais qui concerneraient entre autre les coûts liés à la consommation d'eau fraîche et d'énergie, ainsi l'élimination vraisemblable du traitement des eaux usées en mélange qui aurait sinon été nécessaire pour satisfaire en permanence aux normes de rejet en vigueur.

Il fut également constaté que certaines dépenses d'investissement seraient nécessaires pour mettre en oeuvre la proposition de programme de réduction des déchets. Il fut convenu avec les dirigeants de la brasserie que l'estimation de ces investissements serait réalisée par leur propre bureau d'études. Comme les sommes nécessaires restaient relativement faibles par rapport au budget global d'investissement de la société pour l'année en cours, et qu'elles concernaient des améliorations progressives aux activités de production, la société accepterait très vraisemblablement les propositions de réduction des déchets, étant donné les économies substantielles qu'elles permettraient de réaliser sur les seuls coûts de traitement des effluents.

Etape 20 : Elaboration et mise en oeuvre d'un plan d'action : réduction des déchets et amélioration de la productivité

Les résultats de l'audit et des études de réduction des déchets furent présentés officiellement à la direction de la Société A sous forme de rapport technique. Les recommandations furent acceptées et des plans établis pour mettre en oeuvre ces recommandations.

L'audit de déchets avait permis une bonne compréhension de toutes les sources principales de déchets générés dans l'ensemble de la brasserie. Par ailleurs, l'ingénieur mis à disposition pour assister l'équipe d'audit avait largement bénéficié de son implication dans cette démarche pas-à-pas adoptée par les consultants.

Il fut estimé que l'expérience ainsi acquise par la brasserie permettrait à son personnel de prendre en charge des opérations futures d'audit de déchets, et notamment l'évaluation des réductions subséquentes à la mise en service des modifications et extensions proposées dans l'entreprise.

ETUDE DE CAS 2 : FABRICATION DU CUIR

La Société B exploite une tannerie en Asie du Sud-Est et transforme des peaux de bétail en cuir fini destiné principalement à l'industrie de la chaussure. Le traitement des peaux fait intervenir une série d'opérations par lots impliquant plusieurs processus physiques et chimiques. Les eaux usées rejetées contiennent des polluants provenant des peaux, des sous-produits de leur décomposition ainsi que des produits chimiques et autres résidus de solutions employées pour la préparation des peaux et le tannage. Les activités donnent également lieu à des déchets solides et à des émissions gazeuses.

La Société B a été mise en demeure de se mettre en conformité avec de nouvelles normes gouvernementales sur les rejets dans les cours d'eau locaux. Ceci nécessitait d'apporter des améliorations aux installations d'épuration qui se limitaient à l'époque à une décantation grossière dans trois bassins fonctionnant en série. Les boues primaires ainsi produites étaient ensuite éliminées sous forme liquide sur une zone étendue du terrain environnant.

Au vu de cette situation, la société fit appel à un cabinet local d'ingénieurs-conseils pour aider son personnel à réaliser un audit de déchets et à développer un programme de réduction de ses déchets, avec l'objectif de mettre au point la solution la mieux adaptée et la plus rentable à ses problèmes de traitement et d'élimination.

Les principales opérations de tannage, typiques de nombreuses tanneries dans le monde entier, peuvent se résumer comme suit.

Opérations de pré-tannage (atelier de chevalage)

- détrempage des peaux importées et préservées au sel, dans un bain d'eau pour éliminer le sang, la bouse, le sel de préservation et les protéines solubles dans l'eau et en solution saline ;
- ébourrage (dissolution complète des poils) par immersion dans la chaux et le sulfure de sodium - puis rechaulage ;
- échantillonnage et écharnage mécanique des restes de tissus sur l'intérieur des peaux - suivis d'un dédoubleage (fendage à la chaux) aux deux-tiers de la couche supérieure de fleur pour la séparer de la couche inférieure fendue moins valorisable ;
- déchaulage par traitement à l'acide faible (acide lactique) et chipage dans une substance chimique à base d'enzymes pour éliminer tous restes de poils et de protéines dégradées ;
- picklage à l'aide de solutions de sel et d'acide sulfurique, destiné à donner aux peaux l'acidité nécessaire pour empêcher une précipitation ultérieure des sels de chrome sur les fibres cutanées - les couches de peau refendue sont ensuite vendues à d'autres tanneries pour traitement complémentaire, seules les couches de fleur étant tannées et finies par la Société B.

Il s'ensuit donc que les eaux usées issues de l'atelier de chevalage contiennent des niveaux élevés de solides en suspension et de matière organique dissoute, de sel et de graisse de préservation, en plus des produits chimiques non utilisés (notamment des sulfures). Ces effluents seront en outre alcalins avec une forte demande en oxygène.

Tannage

Le tannage au chrome s'effectue à l'aide de sulfate de chrome. Le procédé de tannage stabilise le réseau protéinique (collagène) de la peau. Des effluents acides sont générés, contenant des sels de chrome trivalents non utilisés.

Opérations de post-tannage

Elles comportent :

- foulage (essorage) pour éliminer l'humidité ;
- deuxième arasement à la drayoire ;
- teinture et assouplissage de la peau tannée à l'aide d'huiles émulsifiantes (graissage), précédés occasionnellement d'un tannage secondaire avec des tanins synthétiques (syntan) et des extraits tanniques ;
- séchage et échantillonnage final ;
- enduction et polissage (finition).

L'étude de cas qui suit, décrit la démarche adoptée pour l'audit/programme de réduction des déchets.

PHASE 1 : PRE-EVALUATION

Etape 1 : Définition et préparation de l'audit

Il fut décidé que les recherches de l'étude seraient effectuées par un ingénieur chimiste du cabinet de consultants, qui bénéficiait d'une expérience préalable en matière d'audits de déchets, assisté du chimiste de la tannerie.

Le laboratoire interne de la Société B n'était pas équipé pour réaliser la majorité des essais généralement associés à des analyses d'eaux usées. Il fut donc nécessaire de prendre des dispositions pour faire livrer les échantillons à un laboratoire d'analyse local.

Étant données les pressions gouvernementales exercées, il fut décidé de se concentrer sur les rejets d'eaux usées issues de l'atelier de chevalage et des opérations subséquentes de tannage. Toutefois, les émissions gazeuses furent également étudiées, avec une attention particulière accordée à leurs effets sur la santé et la sécurité. La génération de déchets solides fut elle aussi étudiée, notamment les boues produites par la station d'épuration des eaux usées.

L'équipe d'audit souhaitait vivement gagner le soutien du personnel de production pour s'assurer ensuite d'obtenir facilement des renseignements complets et détaillés sur toutes les opérations de tannage. En un premier stade, les objectifs de l'étude furent donc expliqués clairement à des représentants du personnel responsables des diverses activités de fabrication.

Les recherches démarrèrent par un regroupement des informations pertinentes recueillies dans les dossiers de l'entreprise. Cette recherche préliminaire se solda par des plans du site et du réseau de drainage, des dossiers sur les achats de matières premières et des archives sur les compteurs d'eau et le soutirage des puits sur site.

Une vérification préliminaire de la consommation d'eau fut effectuée en calculant l'utilisation d'eau par tonne de peaux salées traitées. Elle fut estimée à 61 m³/tonne. On nota par ailleurs que ce chiffre était d'environ 22% supérieur aux 50 m³/t qu'indiquait la littérature technique comme consommation moyenne type. Cette constatation laissait penser qu'il devrait être possible de trouver un moyen de faire des économies d'eau considérables à la suite de l'audit.

Etape 2 : Liste des opérations élémentaires

Le consultant et le chimiste de l'entreprise commencèrent leur étude de la tannerie en parcourant tous les secteurs de transformation et de traitement des déchets, en dressant l'inventaire de tous les procédés de base et en prenant des notes sur leur fonction et leur utilité. Ils recherchèrent également l'aide des opérateurs connaissant les opérations routinières de l'entreprise. La liste des opérations élémentaires fut dressée dans le Tableau 1, avec les procédés ne produisant aucun déchet liquide indiqués entre parenthèses.

Tableau 1 : Opérations élémentaires

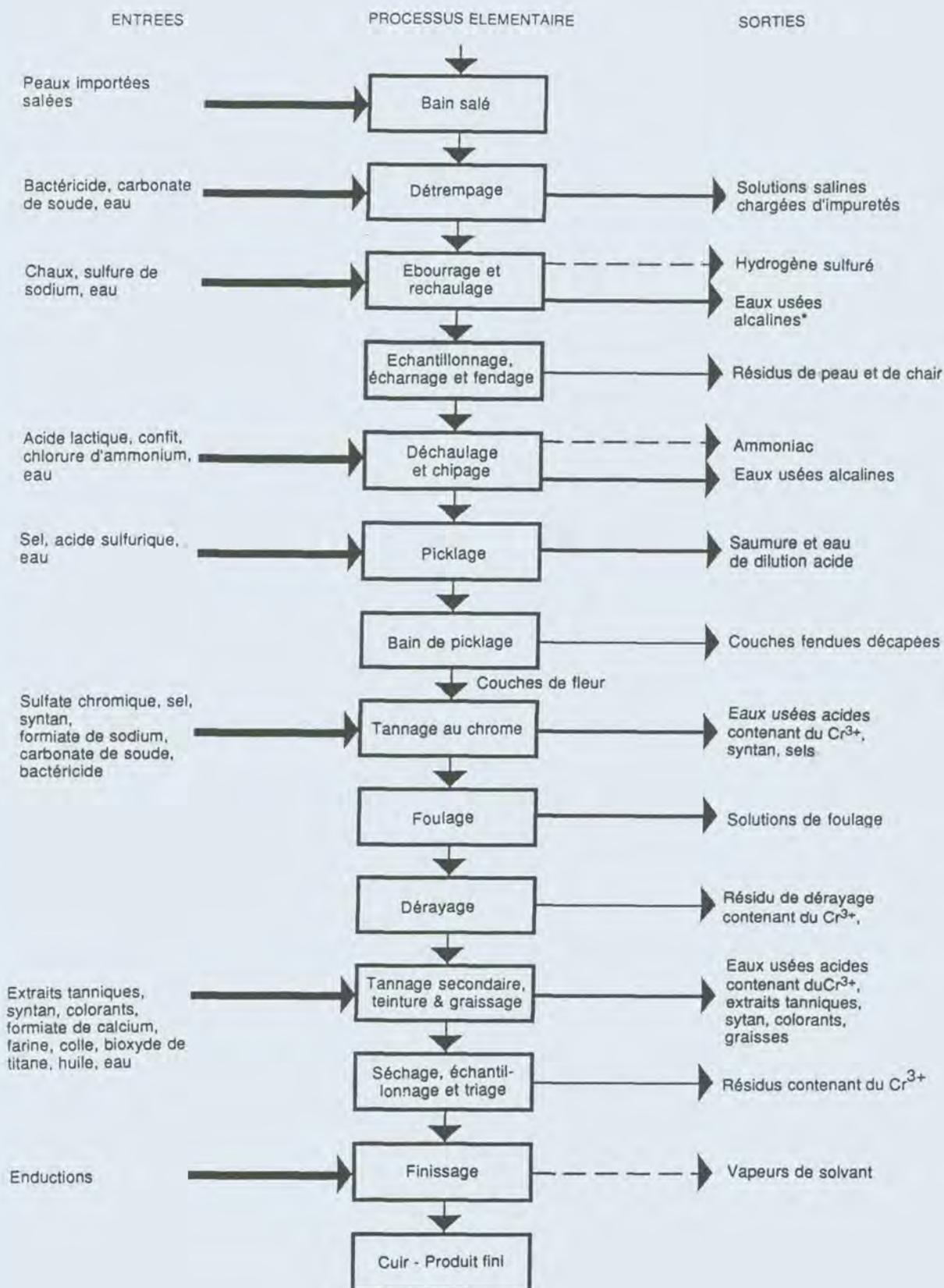
Détrempage
Ebourrage et rehaulage
(Echantillonnage, écharnage et fendage)
Déchaulage et chipage
Picklage
Tannage au chrome
Foulage
(Dérayage)
Tannage secondaire, teinture et graissage
(Séchage, échantillonnage et triage)
(Finissage)

Le chimiste fit observer que, dans le cadre de la planification à long terme de l'entreprise, il était envisagé de déplacer les opérations de fendage en aval de la chaîne de transformation (après le tannage), afin d'améliorer la précision du fendage et donc la maîtrise globale du process, méthode couramment pratiquée dans d'autres tanneries. Cependant, l'implantation existante et la conception des unités de process, dont beaucoup étaient relativement anciennes, ne se prêtaient pas à une réalisation immédiate de cette modification.

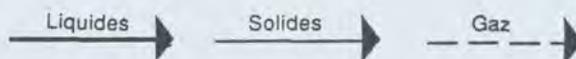
Etape 3 : Elaboration des diagrammes de fabrication

Un diagramme fut établi pour illustrer les corrélations entre les différentes opérations élémentaires (Figure 1).

Figure 1 : Diagramme schématique des opérations de tannage



* contenant poils, saletés, matières organiques, sel et excès de chaux, sulfure de sodium



PHASE 2 : BILAN-MATIERES : ENTREES ET SORTIES DE PROCEDE

Etape 4 : Détermination des entrées

La phase préparatoire de l'audit (Etape 1) avait déjà mis en évidence la disponibilité d'archives bien documentées sur les achats de matières premières. Les données recueillies avaient en outre permis un bon contrôle des quantités de matières premières mentionnées par les contremaîtres de l'usine, pour chacune des opérations élémentaires.

Les données recueillies sur l'utilisation de matières premières furent résumées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Consommation annuelle de produits chimiques industriels

Produits chimiques	tonnes/an
Chlorure de sodium (autre que sel de préservation présent dans les peaux brutes)	622
Chaux hydratée	1.123
Sulfure de sodium (62% Na ₂ S)	445
Acide sulfurique	160
Cendre de soude (carbonate de sodium anhydre)	74
Confit (95% sulfate d'ammonium, 5% enzymes)	65
Formiate de calcium	40
Acide lactique (30%)	35
Formiate de sodium	26
Bactéricide	19
Chlorure d'ammonium	9
Sous-total	2.618
Produits chimiques absorbés par les peaux (i)	
Tanolin (16% chrome)	760
Syntans A & B (tanins synthétiques)	424
Colorants	77
Huile D-1	17
Autres huiles	295
Extraits tanniques	190
Farine de soja	45
Bioxyde de titane	30
Cellulose de méthyle	9
Colle semi-solide	17
Sous-total	1.864
Total	4.482

(i) Absorption estimée à 90%, 10% de rejet - sauf pour le Tanolin : absorption à 75% et 25% de rejet.

En raison de la nature des matières premières et grâce à un système bien organisé de stockage des matériaux, il se produisait peu de pertes significatives dues à la manutention.

Il fut constaté que l'entreprise n'avait aucun frais pour sa consommation d'eau soutirée d'un puits sur le site. L'eau du réseau municipal (potable) servait à alimenter les besoins en eau à usage domestique. Les égouts domestiques étaient rejetées dans un cours d'eau voisin après passage dans une fausse septique.

Une fois les étapes-clé de la production structurées sous forme de tableau (étape 2), l'usage des matières premières énumérées dans le Tableau 2 fut utilisé pour déduire les quantités moyennes par opération élémentaire dans l'ensemble de la tannerie, en fonction d'une base journalière et par tonne de peau traitée.

Les données ainsi obtenues furent ensuite présentées dans le Tableau 3

Tableau 3 : Entrées de produits chimiques par opération élémentaire de tannage

Opération élémentaire	kg/t de peau (pour l'opération élémentaire)		kg/t de peau brute salée	kg/j
<i>Détrempage</i>				
Bactéricide	1,6	(i)	1,6	64
Carbonate de soude	0,8	(i)	0,8	32
<i>Ebourrage/Rechaulage</i>				
Chaux hydratée (ébourrage)	48	(i)	48	1920
Sulfure de sodium	43	(i)	43	1720
Chaux hydratée (rechaulage)	58	(i)	58	2320
<i>Déchaulage/Chipage</i>				
Acide lactique	5	(ii)	4,3	172
Confit	10	(ii)	8,7	348
Chlorure d'ammonium	1,3	(ii)	1,1	44
<i>Picklage</i>				
Chlorure de sodium	60	(ii)	51,9	2076
Eau de dilution acide	0,84	(ii)	0,073	2,9
<i>Tannage au chrome</i>				
Tanolin (sulphate chromique basique, 16% Cr ³⁺)	60	(ii)	51,9	2076
Chlorure de Synthan A	60	(ii)	51,9	2076
Formiate de sodium	25	(ii)	21,6	864
Carbonate de soude	8,9	(ii)	7,7	308
Bactéricide	10	(ii)	8,7	348
Synthan B	1	(ii)	0,9	36
	41	(ii)	35,5	1420
<i>Tannage secondaire, Teinture & Graissage</i>				
Colorants	20	(iii)	7,0	280
Formiate de calcium	10,3	(iii)	3,6	145
Synthan B	44	(iii)	15,4	616
Farine de soja	16	(iii)	5,6	224
Dioxyde de titane	8	(iii)	2,8	112
Colle/Méthylcellulose	8	(iii)	2,8	112
Extraits tanniques & huiles	118	(iii)	41,3	1652
Total				19693

(i) Basé sur 40 tonnes de peaux brutes salées par jour

(ii) Basé sur 34,6 tonnes par jour de peaux écharnées, fendues/échantillonnées, après rechaulage

(iii) Basé sur 14,0 tonnes par jour de cuir tanné au chrome, après foulage/dérayage

Etape 5 : Relevé de la consommation d'eau

L'étape suivante consistait à relever la consommation d'eau dans la tannerie et à déterminer de quelle manière elle était utilisée. On constata que l'eau provenant du puits de forage sur site était pompée dans un réservoir couvert situé au niveau du sol avant d'être pompée à nouveau dans un réservoir de stockage surélevé. L'eau s'écoulait ensuite par gravité vers le réseau d'alimentation du site sous l'effet de la pression statique via un compteur d'eau dont les relevés étaient consignés chaque semaine dans un registre.

L'analyse de ces relevés révéla une moyenne journalière de consommation totale d'eau pour le site s'élevant à 2.450 m³/j. Ce chiffre fut ensuite décomposé pour obtenir la consommation moyenne par processus élémentaire de tannage, d'une manière similaire à celle utilisée précédemment pour les produits chimiques de traitement. Comme les processus de tannage consommateurs d'eau s'effectuaient tous dans des cuves tournantes de capacité connue, avec une agitation mécanique permettant d'accélérer les opérations par voie humide, il était très simple de quantifier les entrées d'eau de traitement pour chaque cuvée. On connaissait en outre, sur la base de travaux réalisés antérieurement par la société, la consommation d'eau de rinçage dont l'écoulement était continu pendant une durée fixe pour chaque cuvée. Pour le faire, il suffisait de vérifier le temps nécessaire pour remplir une cuve de volume connu suivant un réglage donné du robinet d'eau.

Les résultats furent résumés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Entrées d'eau par opération élémentaire

Opération élémentaire	m ³ /t de peau (pour l'opération élémentaire)		m ³ /t de peau brute salée	m ³ /j	
<i>Détrempage</i>					
Pré-lavage	4,3	(i)	4,3	172,0	
Eau de traitement	1,9	(i)	1,9	76,0	
Eau de rinçage	2,1	(i)	2,1	84,0	
<i>Ebourrage/Rechaulage</i>					
Eau de traitement	1,9	(i)	1,9	76,0	
Eau de rinçage	11,0	(i)	11,0	440,0	
Eau de trempage (rechaulage)	1,9	(i)	1,9	76,0	
Eau de rinçage	2,1	(i)	2,1	84,0	
<i>Déchaulage/Chipage</i>					
Pré-rinçage	4,2	(ii)	3,635	145,4	
Eau de traitement	1,0	(ii)	0,865	34,6	
Eau de rinçage	1,385	(ii)	1,2	48,0	
<i>Picklage</i>					
Saumure	2,49	(ii)	0,215	8,6	
Eau de dilution acide	0,84	(ii)	0,073	2,9	
<i>Tannage au chrome</i>					
Eau de traitement	0,586	(ii)	0,507	20,3	
Rinçage	4,51	(ii)	3,9	156,0	
<i>Foulage</i>					
	0,202	(ii)	0,175	7,0	
<i>Tannage secondaire, Teinture & Graissage</i>					
Pré-rinçage	9,15	(iii)	3,2	128,0	
Eau de traitement	0,4	(iii)	0,14	5,6	
Eau de rinçage	18,6	(iii)	6,5	260,0	
Eau de traitement	0,4	(iii)	0,14	5,6	
Eaux de lavage des sols et d'entretien			15,5	620,0	
Total	-	Eaux de traitement	-	12,115	484,6
	-	Eaux de rinçage	-	33,635	1345,4
	-	Lavage général	-	15,500	620,0
	-	Total	-	61,250	2450,0

(i) Basé sur 40 tonnes de peaux brutes salées par jour

(ii) Basé sur 34,6 tonnes par jour de peaux écharnées, fendues/échantillonnées, après rechaulage

(iii) Basé sur 14,0 tonnes par jour de cuir tanné au chrome, après foulage/dérayage

Etape 6 : Mesure des taux courants de réemploi/recyclage des déchets

Il fut constaté qu'il n'existait ni réutilisation ni recyclage des déchets dans la tannerie.

Etape 7 : Quantification des sorties d'opération

L'équipe d'audit dressa une liste des sorties de procédé pour chaque opération élémentaire de tannage, comme indiqué dans le Tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5 : Sorties de processus

Opération élémentaire	Eaux usées	Réemploi des sous-produits/déchets	Emissions atmosphériques
Trempage	Eaux de traitement et de lavage/rinçage	-	-
Ebourrage/Rechaulage	Eaux de traitement et de rinçage	-	Hydrogène sulfuré
Echantillonnage, Echarnage et Fendage	-	Résidus de peau et de chair	-
Déchaulage/Chipage	Eaux de traitement et de rinçage	-	Ammoniac
Picklage	Saumure de traitement/ eaux de dilution acide	-	-
Stockage des peaux décapées	-	Cuir refendu	-
Tannage au chrome	Eaux de traitement et de rinçage	-	-
Foulage et Dérayage	Jus de foulage	-	-
Séchage, Echantillonnage et Triage	-	Résidus de découpe	-
Finissage	-	-	Vapeurs de solvant
Produit fini	-	Cuir fini (couche de fleur)	-

On procéda ensuite à la quantification de ces sorties lors des Etapes 8, 9 et 10.

Etape 8 : Evaluation des eaux usées

Pour calculer les flux d'eaux de traitement usées, on totalisa les entrées d'eau en leur ajoutant une marge pour compenser la rétention d'eau dans les peaux à chaque étape du procédé, en se référant à des pourcentages trouvés dans la littérature technique.

Des échantillons composites furent prélevés sur les différents rejets pour analyse ultérieure en laboratoire. Les résultats de cet exercice furent résumés dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Flux moyens, titrages et charges polluantes des solutions concentrées

Opération élémentaire	Flux			DBO			SS		
	m ³ /j	% du total	pH	mg/l	kg/j	%du total	mg/l	kg/j	%du total
Détrempage	276	42,1	6,8	2200	607	19,8	4400	215	30,0
Ebourrage	103	15,7	11,5	15500	597	52,0	22100	2276	56,1
Rechaulage	103	15,7	11,7	650	67	2,2	1650	170	4,2
Déchaulage et Chipage	66	10,1	9,5	6000	369	12,9	2100	139	3,4
Picklage	37	5,6	2,7	2900	108	3,5	5200	92	4,7
Solutions de Tannage au chrome & de Foulage	33	5,0	3,6	6500	215	7,0	1100	36	0,9
Tannage secondaire, Teinture & graissage									
- 1er rejet	19	2,9	4,0	2000	38	1,2	600	11	0,3
- 2ème rejet	19	2,9	3,7	2200	42	1,4	850	16	0,4
Total	656	100,0	-	-	3070	100,0	-	4055	100,0

Une fois quantifiées les principales charges polluantes des solutions concentrées issues de chaque opération élémentaire, on décida qu'une quantification individuelle des charges polluantes des eaux de ruissellement issues des rinçages dans chaque opération, ne se justifiait pas, car ceci aurait nécessité la mise en place d'un grand nombre de déversoir triangulaire ainsi que de nombreux autres points de prélèvement, entraînant en conséquence une augmentation considérable de la durée des travaux et des analyses nécessaires.

L'écoulement continu relativement faible des eaux de rinçage fut donc contrôlé à l'aide d'un déversoir triangulaire, situé sur le collecteur principal de l'entreprise, en combinant des échantillons prélevés de façon intermittente et fréquente afin d'obtenir quotidiennement un échantillon composite représentatif de l'ensemble de la tannerie. Le flux total d'eaux de rinçage, y compris les eaux de lavage et d'entretien de l'usine, fut estimé à 1.944 m³/j, avec des valeurs associées de 273 mg/l DBO et 396 mg/l SS. Les charges polluantes correspondantes (titre du flux x) étaient ainsi de 530 kg DBO/j et 770 kg SS/j.

Le flux global d'eaux usées ainsi que les concentrations et charges polluantes en DBO et SS furent ensuite résumés sous forme du Tableau 7.

Tableau 7 : Total des flux d'eaux usées, concentrations et charges polluantes

Eaux usées	Flux m ³ /j	DBO		SS	
		mg/l	kg/j	mg/l	kg/j
Solutions concentrées	656	4680 (i)	3070	6180 (i)	4055
Eaux de rinçage/ Lavage général	1944	273	530	396	770
Total	2600	1430 (i)	3600	1950 (i)	4825

(i) Concentrations calculées en fonction de données sur les flux/charges polluantes

Sur la base d'une moyenne de 40 tonnes de peaux salées traitées, on calcula que ces chiffres globaux équivalaient à 65 m³/j d'eaux usées/tonne, 90 kg DBO/tonne et 121 kg SS/tonne, c'est à dire des charges polluantes unitaires assez typiques, mais des flux d'eaux usées supérieurs d'environ 20-25%, en comparaison avec les valeurs moyennes relevées précédemment pour des tanneries similaires.

Une évaluation des charges polluantes en chrome et en sulfures fut également effectuée, basée sur des analyses complémentaires réalisées sur des eaux usées sélectionnées. On obtint des charges polluantes de 198 kg Cr/j et 412 kg S²⁻/j, équivalant à 4,9 kg Cr/tonne et 10,3 kg S²⁻/tonne. Là encore, il s'avérait que, selon l'expérience passée du consultant, ces valeurs étaient assez standard, même pour des tanneries bien exploitées, bien qu'elles fussent cependant légèrement supérieures (respectivement 14% et 21%) aux moyennes relevées par l'OMS en 1982.

Plusieurs autres contrôles furent réalisés. Malgré la difficulté rencontrée pour mesurer les flux mélangés d'eaux usées s'écoulant dans le système d'épuration, on put constater que l'effluent ultime issu des bassins était rejeté par l'intermédiaire d'un caisson de mesure rectangulaire. Il fut donc possible grâce à ce déversoir, de surveiller l'écoulement de l'effluent ultime dans le cours d'eau voisin, afin de valider les chiffres obtenus dans le Tableau 7 pour les flux mélangés d'eaux usées. On enregistra ainsi un flux moyen de 2.200 m³/j au cours de la période d'étude.

On préleva ensuite un nombre restreint d'échantillons des effluents issus des bassins d'épuration, puis les résultats des analyses furent comparés aux analyses d'eaux usées brutes inscrites dans le Tableau 7. Cette comparaison révéla des diminutions moyennes des charges polluantes s'élevant à 40% DBO et 70% SS. En se basant sur une teneur moyenne de 6% de matières sèches dans les boues, les calculs indiquèrent que le volume de boues primaires générées était en moyenne de 56 m³/j. L'équipe d'audit nota que la pratique actuelle qui consistait à éliminer périodiquement ces boues sur le terrain environnant, ne pourrait plus être autorisée à l'avenir car les eaux de ruissellement provoquaient des problèmes de pollution dans le cours d'eau voisin, notamment pendant la saison des pluies.

Etape 9 : Evaluation des émissions gazeuses

Il fut décidé que l'étude des questions de pollution atmosphérique dans le cadre du projet ne justifierait pas la nécessité d'un matériel portatif de détection des gaz, d'autant que cet équipement n'était pas aisément disponible. On jugea en outre que les moyens nécessaires à une quantification des émissions gazeuses seraient hors de proportion avec l'ampleur réelle de ce problème. Néanmoins, un certain nombre de constatations très utiles furent faites au cours d'une visite du site.

De fortes odeurs d'hydrogène sulfuré (H₂S) se dégageaient dans la zone de sédimentation primaire de la station d'épuration. Les émissions de H₂S étaient de même évidentes, bien que plus limitées, dans certains secteurs de fabrication de la tannerie, là où les solutions alcalines issues de l'atelier de chevalage se mélangeaient aux écoulements acides des phases suivantes dans le collecteur d'évacuation interne.

Le chimiste de l'entreprise savait que l'hydrogène sulfuré est un gaz fortement toxique, avec un seuil admissible de 15 mg/m³ (100 ppm en volume) dans l'air. Il savait également que les normes de rejet de H₂S dans l'atmosphère étaient fonction du pH, un pH élevé favorisant la forme ionisée (HS⁻) et présentant donc un risque réduit de lavage des sulfures. Il fit donc observer que tout système d'épuration mis en place à

l'avenir devrait être conçu de manière à permettre un pré-traitement des solutions alcalines issues de l'atelier de chevalage (pH au moins égal à 10) avant de les laisser se mélanger aux autres flux acides.

L'étude ne révéla aucune émission d'ammoniac associée aux opérations de déchaulage/chipage. Cependant on nota quelques rejets de vapeurs de solvant dans les secteurs de travail associés au finissage du cuir, qui pourraient présenter un risque potentiel à la santé du personnel. Des discussions ultérieures avec la direction révélèrent qu'un projet était déjà en cours pour installer un système de ventilation forcée afin de résoudre ce problème.

Etape 10 : Prise en compte des déchets éliminés hors site

Les seuls déchets recyclés étaient les résidus de chair transportés dans une entreprise locale d'extraction. Ces déchets représentaient une moyenne de 9.200 kg/j.

Les résidus de découpe et de dérayage étaient éliminés dans la décharge municipale et la quantité s'élevait à 14.600 kg/j.

Un examen des comptes ne permit pas à l'équipe d'identifier de recettes touchées sur la vente des déchets d'écharnage. Il fut établi par la suite que la tannerie ne facturait aucun frais en compensation du transport assuré gratuitement par l'entreprise d'extraction.

L'élimination des résidus de découpe et de dérayage coûtait à la tannerie un total de US\$14.000 par an.

Etape 11 : Regroupement des données d'entrée et de sortie pour les opérations élémentaires

A partir des informations recueillies, on commença à établir les bilans de matières en rassemblant toutes les données d'entrée et de sortie concernant la tannerie et la station d'épuration. Les bilans de matières furent ensuite dressés sous forme de tableaux lors de l'Etape 12.

Etape 12 : Etablissement d'un bilan-matières préliminaire pour les opérations élémentaires

En premier lieu, un bilan-matières préliminaire, comportant les données associées aux opérations de tannage, fut établi sur la base des entrées et sorties de matériaux. Ces informations furent résumées sous forme de tableaux comme suit.

Entrées	kg/j
Peaux brutes	40.000
Produits chimiques (autres que sel de préservation) présent dans les peaux brutes)	19.693
Eau	2.450.000
Total	2.509.693



Activités globales de la tannerie



Sorties	kg/j
Résidus de découpe et dérayage	14,600
Résidus de chair	9.200
Couche fendue décapée	13,500
Cuir fini	5,600
Eaux usées	2.600.000
Emissions gazeuses	Non quantifiées mais non considérées comme majeures
Total	2.642.900

Un bilan-matières fut ensuite établi pour chaque opération élémentaire, prenant spécifiquement en compte le chrome et les sulfures. De plus, un bilan-matières fut établi pour la station d'épuration des eaux usées.

Entrées	kg/j	S"
Ebourrage	430	(a)
(a) Basé sur 1.720 kg/j de sulfure de sodium contenant 25% S"		



Ebourrage



Sorties	kg/j	S"
Ebourrage Rechargement Déchargement et Chipage	412	(a)
Eaux de rinçage	5	(b)
Total	417	
(a) Basé sur 103 m ³ /j solutions d'ébourrage à 4.000 mg/l S"		
(b) Basé sur 1.944 m ³ /j d'eaux de rinçage contenant 2.5 mg/l S"		

Etude de cas 2 : Fabrication du cuir

Entrées	kg/j Cr	
Tannage au chrome	332	(a)
(a) Basé sur 2.076 kg/j Tanolin contenant 16% Cr ³⁺		

⇓

Tannage au chrome

⇓

Sorties	kg/j Cr	
Solutions de tan au chrome & de foulage	83	(a)
Cuir chromé	249	(b)
Eaux de rinçage	3	(c)
Total	335	
(a) Basé sur 33 m ³ /j de solutions chromées à 2.500 mg/l Cr ³⁺		
(b) Basé sur 2.976 kg/j de Tanolin contenant 16% Cr ³⁺ et sur 75% d'absorption du chrome dans la peau		
(c) Basé sur 1.944 m ³ /j d'eaux de rinçage contenant 1,5 m ³ /j Cr ³⁺		

Entrées	m ³ /j
Eaux usées brutes	2.600

⇓

Station d'épuration des eaux usées

⇓

Sorties	m ³ /j
Effluents primaires	2.200
Boues primaires	56
Total	2.256

Etape 13 : Evaluation du bilan-matières

L'équipe d'audit était confiante d'avoir établi un bilan-matières satisfaisant (avec une marge de 5-10%) pour l'ensemble de la tannerie, ainsi que pour les substances chimiques au chrome et aux sulfures utilisées dans le procédé de fabrication.

Le bilan-matières pour la station d'épuration des eaux usées était également considéré comme raisonnablement précis, en tenant compte de quelques infiltrations d'eau se produisant éventuellement à la base des bassins et contribuant aux 13% d'écart entre les flux d'entrées et de sorties enregistrés.

Etape 14 : Affinage du bilan-matières

L'équipe d'audit jugea que les informations obtenues dans le bilan-matières étaient suffisantes pour répondre aux besoins immédiats, mais qu'il pourrait s'avérer utile d'effectuer un audit de déchets complémentaire lorsque les mesures de réduction auraient été mises en place.

PHASE 3 : SYNTHÈSE

Étape 15 : Examen des mesures évidentes de réduction des déchets

On constata que l'utilisation d'eaux de rinçage suite à l'ébourrage, correspondant à quelques 18% de la consommation totale d'eau dans l'ensemble de la tannerie, était importante.

On jugea qu'il serait possible de réaliser des économies appréciables pendant cette phase en passant d'un rinçage continu d'une durée de 4 heures à une opération de lavage par lots en deux étapes de 20 à 25 minutes chacune. Un essai de courte durée laissait prévoir qu'il serait possible de parvenir à une réduction constante de 60% de l'usage d'eau de rinçage, passant ainsi de 440 m³/j à 176 m³/j.

L'équipe d'audit se rendit compte en outre que le personnel de la tannerie laissait les nombreux tuyaux d'arrosage couler en permanence après lavage des sols et des équipements, et qu'un gaspillage d'eau considérable se produisait ainsi. En fonction d'une moyenne de 15 tuyaux utilisés en permanence, il fut estimé que ces écoulements d'eau pouvaient représenter jusqu'à 136 m³/j en sus des besoins réels, c'est à dire environ 5% du flux total d'eaux usées. Des recommandations furent donc proposées, prévoyant d'équiper tous les tuyaux d'embouts à pistolet se fermant automatiquement.

Les flux totaux d'eaux usées pouvaient ainsi être réduits de 2.600 m³/j à 2.200 m³/j, diminuant la production d'eaux usées à un volume plus raisonnable de 55 m³/tonne de peaux traitées.

Étape 16 : Ciblage et caractérisation des déchets problématiques

a) Solutions de sulfures

Comme indiqué à l'Étape 9, il était manifeste qu'un pré-traitement de toutes les solutions contenant des sulfures était nécessaire avant de les mélanger aux autres flux acides ; il existait également une possibilité de recycler, du moins partiellement, les solutions de sulfures finement tamisées dans les opérations ultérieures d'ébourrage.

La direction souhaitait privilégier une approche flexible, avec un système permettant si nécessaire de traiter la totalité des flux quotidiens de solutions de sulfures. Elle reconnut en effet qu'un recyclage des solutions de sulfures nécessiterait vraisemblablement une surveillance accrue de l'efficacité des opérations d'ébourrage, ce qui pourrait s'avérer difficile à réaliser en permanence.

L'équipe d'audit procéda ensuite à la spécification des données d'écoulement nominal et de titrage pour le pré-traitement des flux d'eaux usées chargées en sulfures, ainsi que pour les installations d'épuration des eaux usées en mélange qu'il faudrait ensuite mettre en place afin de satisfaire aux nouvelles exigences gouvernementales sur les rejets.

Étaient considérées comme solutions chargées en sulfures, toutes les eaux de traitement et de rinçage associées au processus d'ébourrage, ainsi que toutes les eaux usées associées aux activités de déchaulage/chipage, autres que les eaux du rinçage final. Les valeurs moyennes résultantes de flux nominal et de teneur en sulfure ainsi estimées furent résumées dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Caractéristiques des eaux usées chargées en sulfures

Paramètre	Réel	Nominal
Flux	590 m ³ /j *	600 m ³ /j
Sulfure	412 kg/j (700 mg/l)	420 kg/j (700 mg/l - moy.) 600 kg/j (1.000 mg/l - max.)

* dans l'hypothèse où le rinçage de la phase d'ébourrage s'effectuerait par lot en 2 étapes afin de réduire la consommation d'eau (équivalent à 27% du flux total d'eaux usées après incitation à des économies d'eau)

On effectua ensuite une évaluation de la réduction potentielle en DBO due à l'oxydation du sulfure. Le taux théorique d'absorption d'oxygène due à l'oxydation du sulfure fut estimé à 0,75-2,0 kg O₂/kg S", variable en fonction de la proportion de thiosulfate :sulfate des sous-produits de l'oxydation. En prenant une moyenne de 1,4 kg O₂/kg S" et une réduction du S" de 97% (soit 20 mg/l S"), on obtenait une diminution de 560 kg/j de la DBO.

En se référant au Tableau 7, on pouvait s'attendre à une diminution de la charge DBO des eaux usées en mélange de 3.600 kg/j à 3.040 kg/j, soit 1.380 mg/l DBO dans un flux réduit à un débit de 2.200 m³/j. En ce qui concerne l'effet d'un tamisage fin des solutions de sulfures sur les charges en solides en suspension, l'élimination réelle des SS était difficile à prédire de façon précise en l'absence de travaux d'essai complémentaires. Pour parvenir à une approximation prudente, il fut décidé que la teneur totale en SS calculée à 4.825 kg/j (Tableau 7) serait reportée en tant que teneur nominale en SS pour établir les prévisions budgétaires et le dimensionnement de la station d'épuration des eaux usées en mélange. Ceci donna une concentration de 2.190 mg/l SS en fonction du flux réduit prévu à l'avenir.

b) Solutions de chrome

L'équipe d'audit envisagea la possibilité de récupérer le chrome contenu dans les solutions chromées par filtrage fin, ajout de carbonate de sodium pour précipiter d'hydroxyde de chrome (à pH 8-8,5), foulage des boues sur plaque filtrante, puis conversion du précipité de chrome en sulfate de chrome soluble à l'aide d'acide sulfurique.

Au cours de discussions avec la direction, il s'avéra que cette possibilité avait déjà été envisagée par le passé, mais qu'elle n'était souhaitable pour des raisons techniques et économiques, à moins qu'on ne puisse tirer parti des bénéfices d'une économie d'échelle en implantant un centre de récupération du chrome qui desservirait toutes les tanneries de la région. Malgré des négociations préliminaires engagées par l'association nationale des tanneurs, un tel projet n'était pas envisageable à ce stade.

Il fut donc convenu que pour le moment la conception d'une station d'épuration devrait partir de l'hypothèse que le chrome serait précipité et éliminé hors site en tant que partie intégrante des boues primaires générées.

Etape 17 : Tri

Afin de séparer les solutions chargées en sulfures à des fins de traitement distinct, il fut décidé de faire dévier les collecteurs de la section d'ébourrage vers une station de traitement par lot située dans le bâtiment de fabrication existant.

Les flux traités seraient ensuite combinés avec toutes les autres eaux usées dans une nouvelle station d'épuration située à proximité des bassins de décantation existants.

Etape 18 : Elaboration d'options à long terme de réduction des déchets

Le consultant en audit de déchets fut chargé de rédiger des propositions schématiques pour les nouvelles installations d'épuration des eaux usées.

La réflexion porta sur les méthodes disponibles de traitement des sulfures, parmi lesquelles :

- acidification à un pH 2-3 et aération, avec absorption du sulfure d'hydrogène résultant par une solution de soude caustique dans une colonne de lavage statique, avant rejet à l'égout ou réutilisation de la solution résultante ;
- précipitation aux sels ferreux ou ferriques ;
- oxydation au chlore ou au peroxyde d'hydrogène ;
- oxydation par aération avec un catalyseur au manganèse.

Cette dernière méthode fut jugée la solution la plus satisfaisante d'un point de vue technique et économique, après un tamisage fin. Cet avis était étayé par des références issues de plusieurs sources de données concernant des expériences opérationnelles mises en place ailleurs.

Il fut donc décidé de faire dévier les collecteurs dans la section d'ébourrage vers un tamis (1 mm) mécanique auto-nettoyant, situé dans une rigole d'évacuation modifiée, et muni d'une extrémité supérieure conçue pour transférer les résidus de tamisage vers une benne adjacente.

Les flux tamisés graviteraient ensuite vers une station de pompage submersible qui les ferait remonter dans l'un des deux bassins d'oxydation par lot, le premier de ces réservoirs étant utilisé pour le traitement et le deuxième destiné à recueillir le lot suivant de solution. Un système de diffusion d'air, comportant des diffuseurs non-engorgeables à grosses bulles, fut choisi pour assurer le brassage et l'aération dans chaque réservoir. On incorpora en outre à ce système un appareil permettant de doser une solution de catalyseur au sulfate de manganèse.

Quant à la station principale d'épuration destinée à traiter les solutions de sulfures préalablement traitées en mélange avec tous les autres flux d'eaux usées, elle comportaient les éléments suivants :

- équilibrage flux/charge polluante incorporant brassage/aération par grosses bulles ;
- correction de pH (le cas échéant), floculation chimique à l'alun et polyélectrolyte, suivies d'une décantation primaire ;

- prolongation du traitement par aération à l'aide d'aérateurs de surface mécaniques à basse vitesse (dimensionnés de manière à produire un système biologique solide et capable de résister à des charges fluctuantes ;
- stockage par lot/épaississement des boues primaire mélangées et de l'excès de boues secondaires, avant pompage vers des lits de déshydratation et élimination ultérieure des tourteaux déshydratés dans une décharge contrôlée.

La station incorporait un système de dosage des sels de fer dans le bassin de stockage/épaississement des boues, prévu pour précipiter tout sulfure formé éventuellement par l'activité anaérobie au sein du bassin, et minimiser ainsi l'apparition d'odeurs nauséabondes.

Un diagramme schématique de la station d'épuration proposée fut établi, comme illustré dans la Figure 2.

Etape 19 : Evaluation environnementale et économique des options de réduction des déchets

La Société B se trouvait dans une situation où elle était contrainte d'améliorer son système d'épuration des eaux usées afin de satisfaire aux nouvelles normes sur les rejets, imposées par le gouvernement dans le cadre d'un programme répondant à la nécessité de contrôler la pollution de l'environnement.

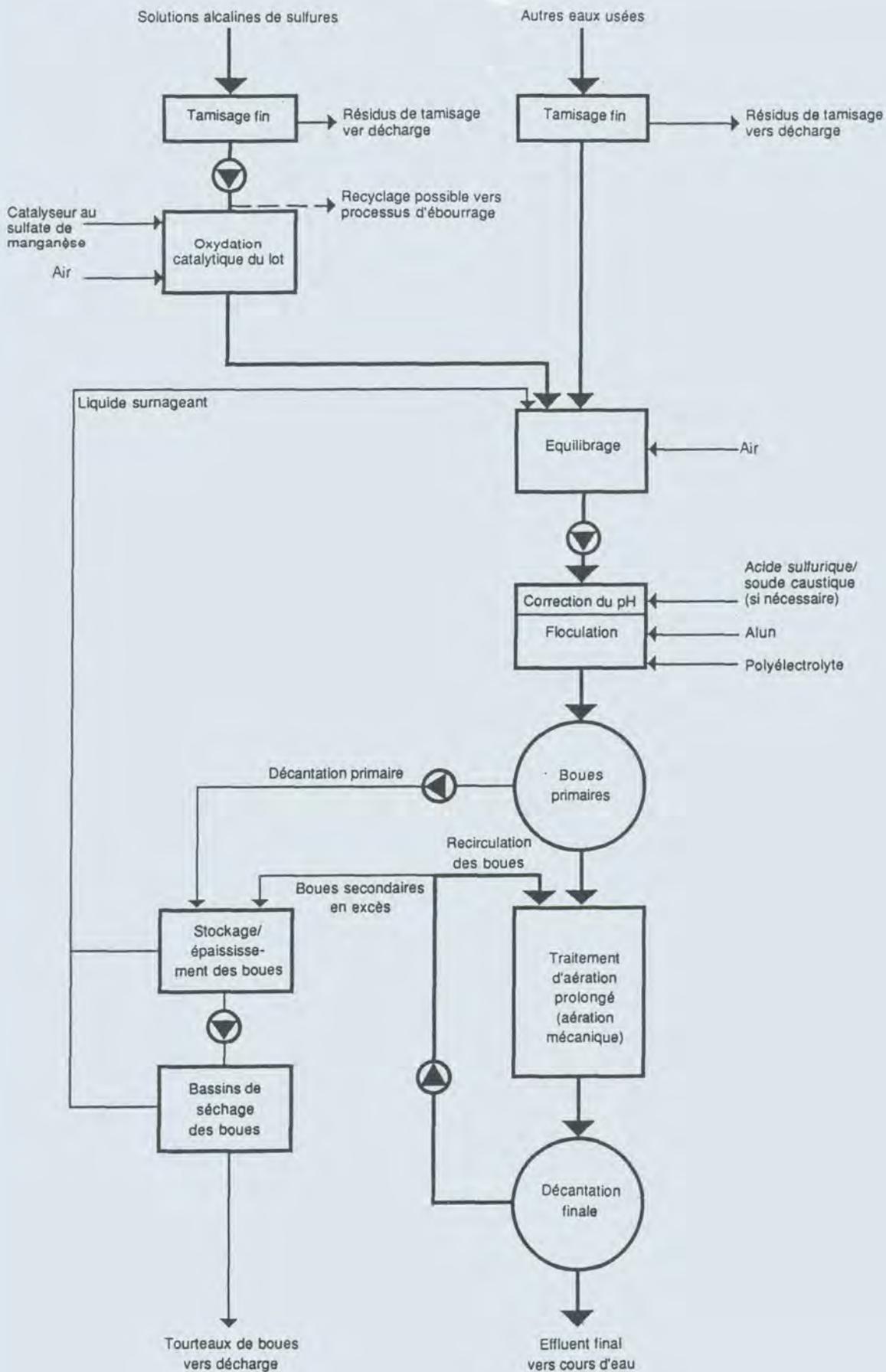
Les nouvelles normes de rejets imposaient des seuils de 40 mg/l DBO et 60 mg/l SS. L'installation d'une nouvelle station d'épuration conçue de manière à rester en permanence en conformité avec ces normes, devait par conséquent permettre d'améliorer considérablement la qualité des cours d'eau locaux.

Il était à l'évidence essentiel de minimiser les investissements et les coûts d'exploitation du projet d'épuration afin de garantir la viabilité économique globale des activités de la société. Par conséquent, lors de l'élaboration de plans schématiques à des fins budgétaires, on accorda une attention particulière à la conception d'une station qui serait à la fois durable et relativement simple à exploiter.

Le coût du projet de station d'épuration ainsi établi fut estimé à US\$500.000, y compris les imprévus et les frais d'études et de maîtrise d'oeuvre. Ceci reflétait une approche prudente relative au dimensionnement du traitement aux boues activées, notamment en matière de capacité d'aération. Ce chiffre prenait également en compte la fourniture de deux réservoirs de stockage d'eau qui conviendraient aussi au traitement des solutions chargées en sulfures.

Cette approche fut adoptée car elle offrait une certaine flexibilité quant au mode de fonctionnement de l'usine tout en visant à minimiser les charges d'exploitation - elle permettrait à la phase de décantation primaire de fonctionner au choix sans ajout de flocculants chimiques, les effluents fortement concentrés passant ensuite à la phase biologique ; par ailleurs, on minimisait ainsi la quantité globale de boues devant être éliminées hors site. Le système prévoyait néanmoins l'utilisation de flocculants chimiques lors de la phase primaire car on jugea qu'ils faciliteraient le maintien permanent des effluents ultimes au niveau de qualité exigé.

Figure 2 : Schéma d'une station d'épuration proposée



Etape 20 : Elaboration et mise en oeuvre d'un plan d'action : réduction des déchets et amélioration de la productivité

Les consultants engagés pour réaliser l'audit et les études de réduction des déchets présentèrent leurs résultats et conclusions à la direction de la Société B. Les données présentées servirent de base à une demande de permis d'aménager et de construire soumise à l'approbation des autorités locales.

Au cours d'une réunion ultérieure avec les instances gouvernementales concernant le calendrier d'exécution du projet, la Société B fut informée qu'un projet de taxation du puisage était à l'étude et pourrait être mis en place l'année suivante. Ce fait nouveau renforça aux yeux des dirigeants de la tannerie l'importance d'avoir effectué ces études de réduction des déchets ainsi que la nécessité de rester vigilant à d'autres mesures d'économie d'eau à l'avenir.

L'audit/étude de réduction des déchets avait rempli les objectifs suivants :

- évaluation approfondie de toutes les sources de déchets dans la tannerie ;
- identification et quantification des sources principales d'eaux usées, y compris les apports en sulfures et chrome ;
- évaluation de l'efficacité du process de fabrication à partir des informations recueillies sur les opérations élémentaires, les matières premières, la consommation d'eau, les produits et la génération de déchets ;
- réduction des déchets problématiques (par ex. solutions de sulfures) nécessitant une attention particulière ;
- mise au point d'un système de gestion des déchets conforme à la réglementation sur les rejets et conduisant à une forte amélioration de l'environnemental local.

ETUDE DE CAS 3 : FABRICATION DE CARTES A CIRCUITS IMPRIMES

La Société C fabrique des cartes imprimées multicouches et double-face, destinées aux marchés de la télécommunication et de l'informatique. La fabrication de cartes à circuits imprimés fait intervenir une série complexe d'étapes physiques et chimiques. Il en résulte que les eaux usées générées par ces processus sont elles-mêmes complexes, de composition variable et difficiles à traiter. Pour compliquer encore les problèmes de traitement des déchets, de nombreuses solutions de process contiennent des produits chimiques brevetés dont la composition est protégée et donc inconnue.

Les principaux polluants rencontrés dans les eaux usées issues de la fabrication de cartes à circuits imprimés sont les métaux lourds, et notamment le cuivre. Les eaux usées générées par la Société C dépassent fréquemment les normes locales de rejets au tout-à-l'égout public. Bien que l'entreprise ait effectué certaines améliorations à son système d'épuration au cours des dernières années, des rejets dépassant le seuil de 5 mg/l pour le cuivre ont continué à se produire et les autorités locales ont fini par décider d'entamer des poursuites juridiques.

En réponse à ces problèmes, la société a décidé de réaliser un audit de déchets afin de :

- sensibiliser le personnel de production à l'importance d'une minimisation des déchets à la source, dans le but d'améliorer la productivité globale tout en réduisant à la fois les coûts de matières premières et de traitement des déchets ;
- identifier les sources de contamination ;
- développer une stratégie de réduction des déchets permettant de minimiser les contaminants à la source ;
- favoriser une bonne compréhension des problèmes d'eaux usées afin de faciliter la mise en place d'un système rentable d'épuration en conformité avec les normes de rejet.

Le matériau utilisé pour fabriquer les cartes CI se compose d'une feuille de fibre de verre dont les deux faces sont laminées au cuivre. Le matériau est livré par le fabricant sous forme de grandes feuilles qui sont ensuite découpées à la taille souhaitée. Les cartes sont alors perforées et passent par une phase de traitement de surface (ébavurage) avant d'être soumises à une série de traitement dans la station d'activation (revêtement autocatalytique). L'objectif principal de ce traitement est de revêtir les orifices d'une couche de cuivre et de les préparer à l'électrodéposition.

L'étape suivante du processus comporte l'application d'un matériau polymérique photorésistant afin de masquer les zones ne nécessitant pas de dépôt électrolytique. Les zones de circuits imprimés sont ensuite développées (pour éliminer les zones photorésistantes à métalliser), puis elles passent par des processus de micro-gravure, de cuivrage, d'étamage, de décapage du vernis photorésistant, et par plusieurs autres traitements de finition en fonction des spécifications du client. Les dernières phases de la production comportent la finition et des essais électriques.

On voit donc que l'usine de fabrication de cartes CI est une installation complexe, qui génère un grand nombre de déchets de production différents. L'étude de cas suivante décrit la démarche adoptée pour résoudre les problèmes de traitement de ces déchets auxquels est confrontée l'entreprise depuis longtemps. Les études furent basées sur l'approche pas-à-pas décrite dans ce manuel d'audit et mirent en évidence plusieurs secteurs dans lesquels les performances de fabrication et de traitement pourraient être améliorées.

PHASE 1 : PRE-EVALUATION

Etape 1 : Objectifs et préparation de l'audit

Le programme d'audit de déchets démarra par une sélection de l'équipe chargée d'effectuer les travaux de recherche et de regrouper la documentation et les informations disponibles et pertinentes.

Etant donnée l'ampleur des travaux d'étude nécessaires, l'équipe d'audit comprenait des représentants de chacune des principales sections de production. Ceci permit non seulement d'améliorer la sensibilisation du personnel et de gagner son soutien, mais aussi de développer une compréhension approfondie des processus de production et des zones à problèmes.

L'équipe d'audit étudia les aspects pratiques de la réalisation de l'étude. Il fut décidé que les mesures de flux d'eaux usées et les échantillonnages pouvaient s'effectuer facilement à partir de sources internes, mais qu'il faudrait de faire appel à un laboratoire privé pour réaliser les nombreuses analyses nécessaires.

Etape 2 : Liste des opérations élémentaires

En raison de la nature complexe de l'usine de cartes CI, une liste finement détaillée de toutes les opérations unitaires fut jugée peu appropriée. Au lieu de cela, après avoir parcouru l'usine, on dressa un inventaire des diverses étapes de la production en fonction des secteurs de fabrication. Par ailleurs, il fut décidé à ce stade de réaliser l'audit en se référant tout particulièrement au cuivre, étant donné que ce métal constituait de loin le contaminant majeur.

La Figure 1 illustre schématiquement l'organigramme de production globale, tracé sur la base de l'étude initiale de l'usine. Les zones où étaient générés les déchets de cuivre, étaient les suivantes :

- opération d'ébavurage (sensibilisation) ;
- chaîne de sensibilisation (plaquage autocatalytique) ;
- chaîne d'électrodéposition (cuivrage, étamage, décapage par voie humide et gravure du cuivre) ;
- station de revêtement d'oxydes (y compris ébavurage, revêtement, décapage et laquage).

Etape 3 : Elaboration des diagrammes de fabrication

Une fois identifiés les principaux secteurs de fabrication générant des déchets de cuivre, on procéda à l'élaboration des organigrammes de processus pour chaque section. Ceci exigea une étude plus détaillée de chaque section, avec une identification des matières en entrée et en sortie. Outre les 4 secteurs de fabrication mentionnés plus haut, un organigramme fut également établi pour la station d'épuration existante. Les Figures 2-6 illustrent les organigrammes de processus pour les principaux secteurs de fabrication. Il est à noter que certains organigrammes ont été simplifiés aux fins de l'étude de cas.

Figure 1 : Diagramme général de l'usine de fabrication de cartes à circuits imprimés

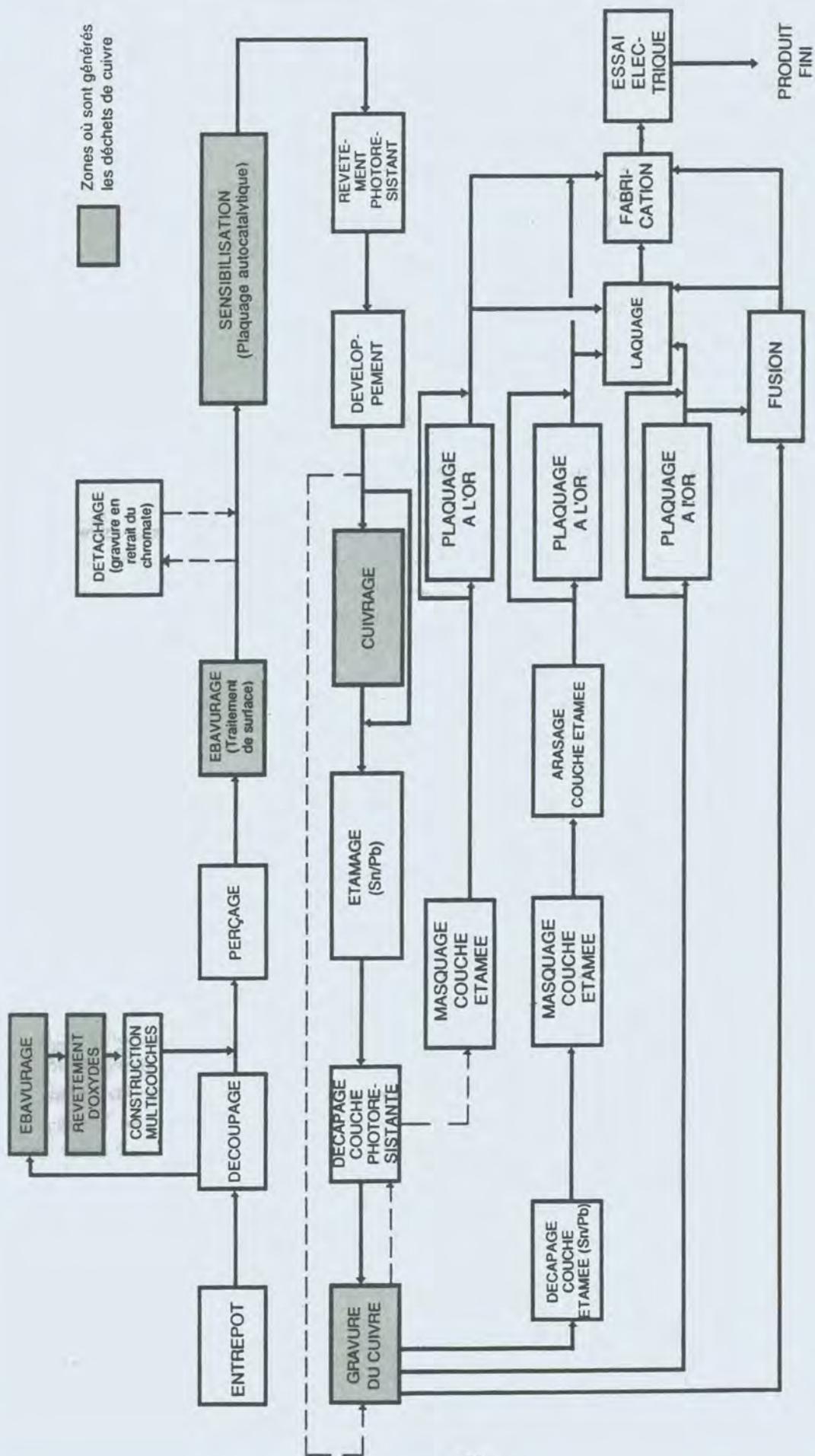


Figure 2 : Organigramme de processus pour l'ébavurage de sensibilisation

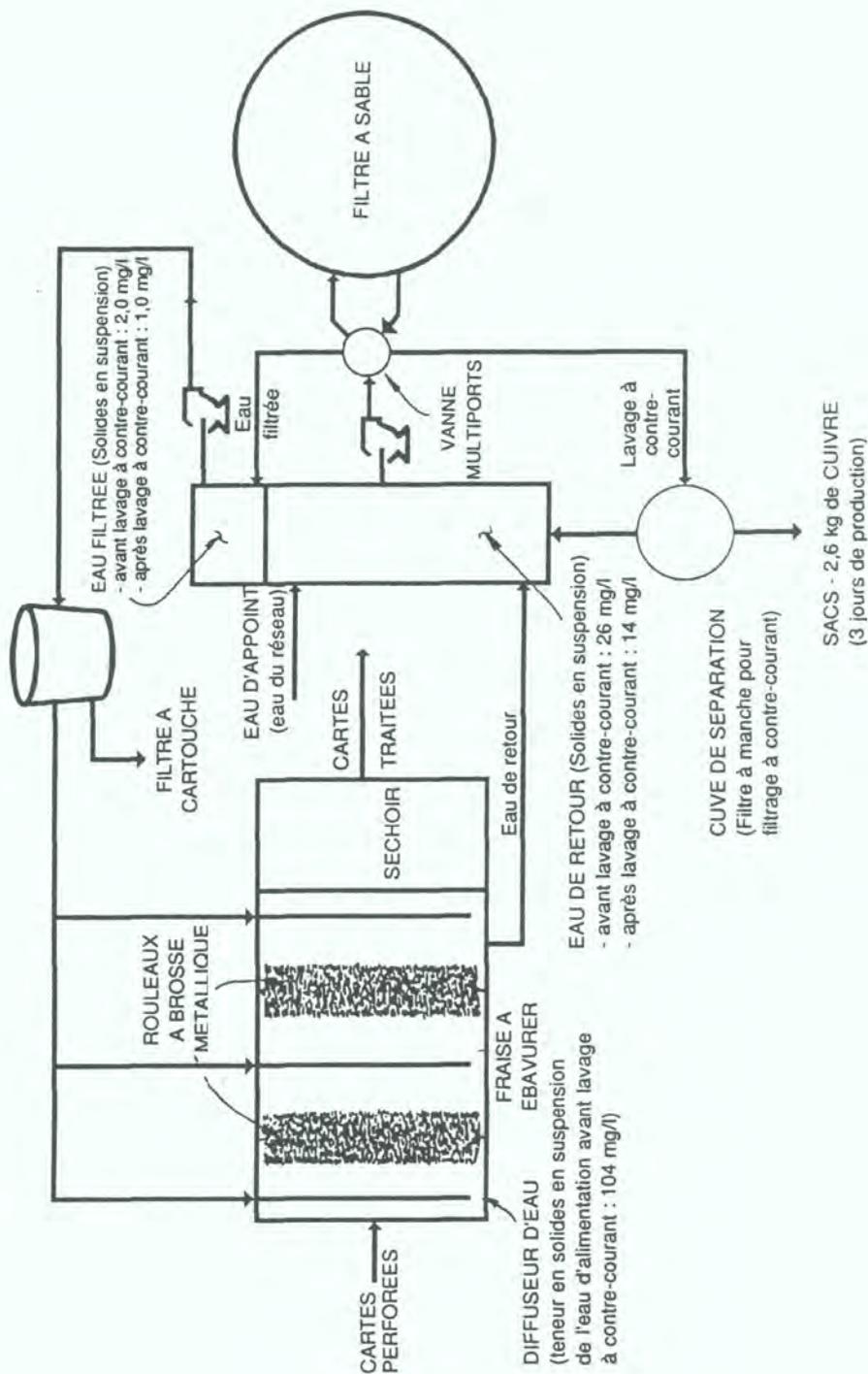


Figure 3 : Organigramme de processus pour la station de sensibilisation (plaquage autocatalytique)

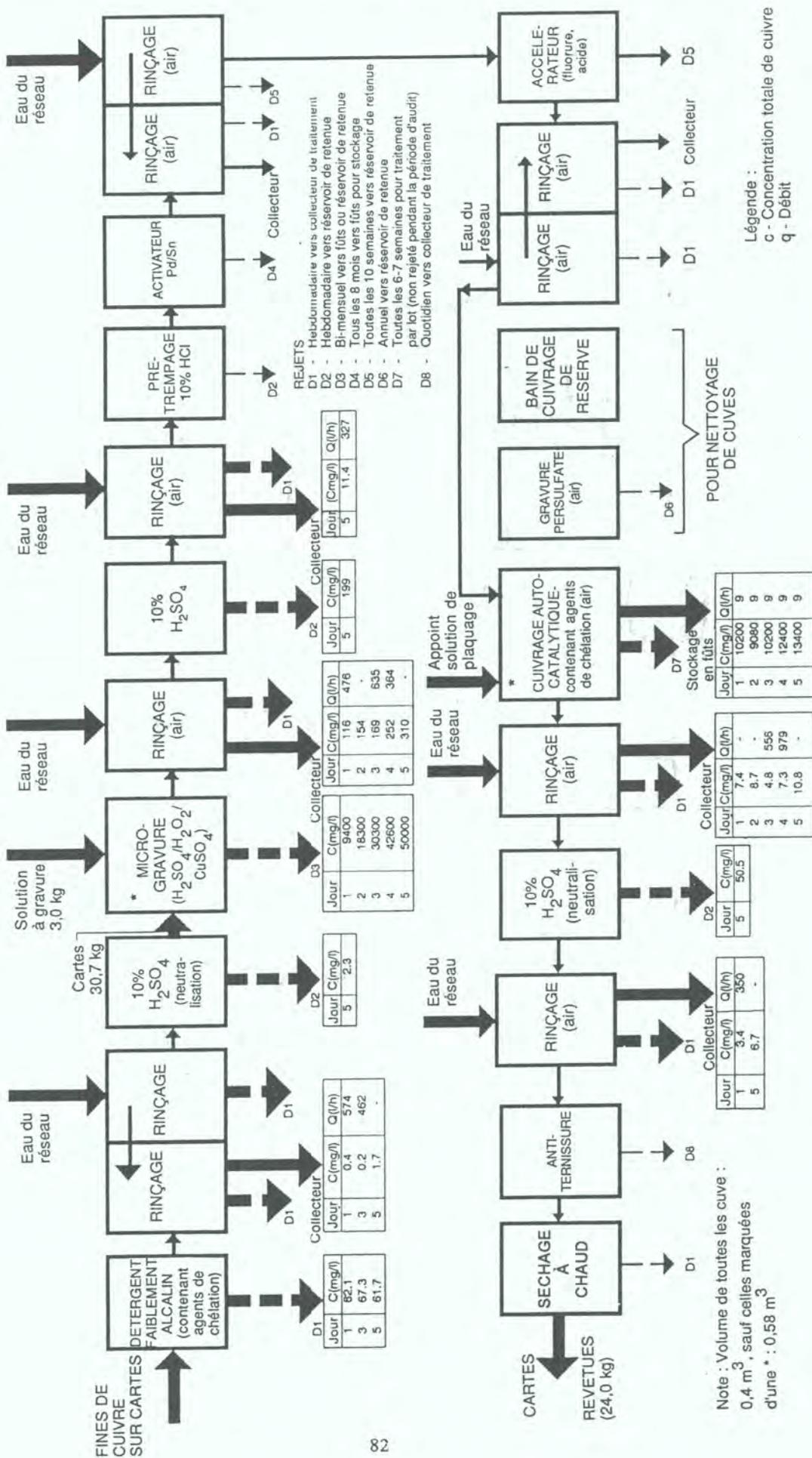
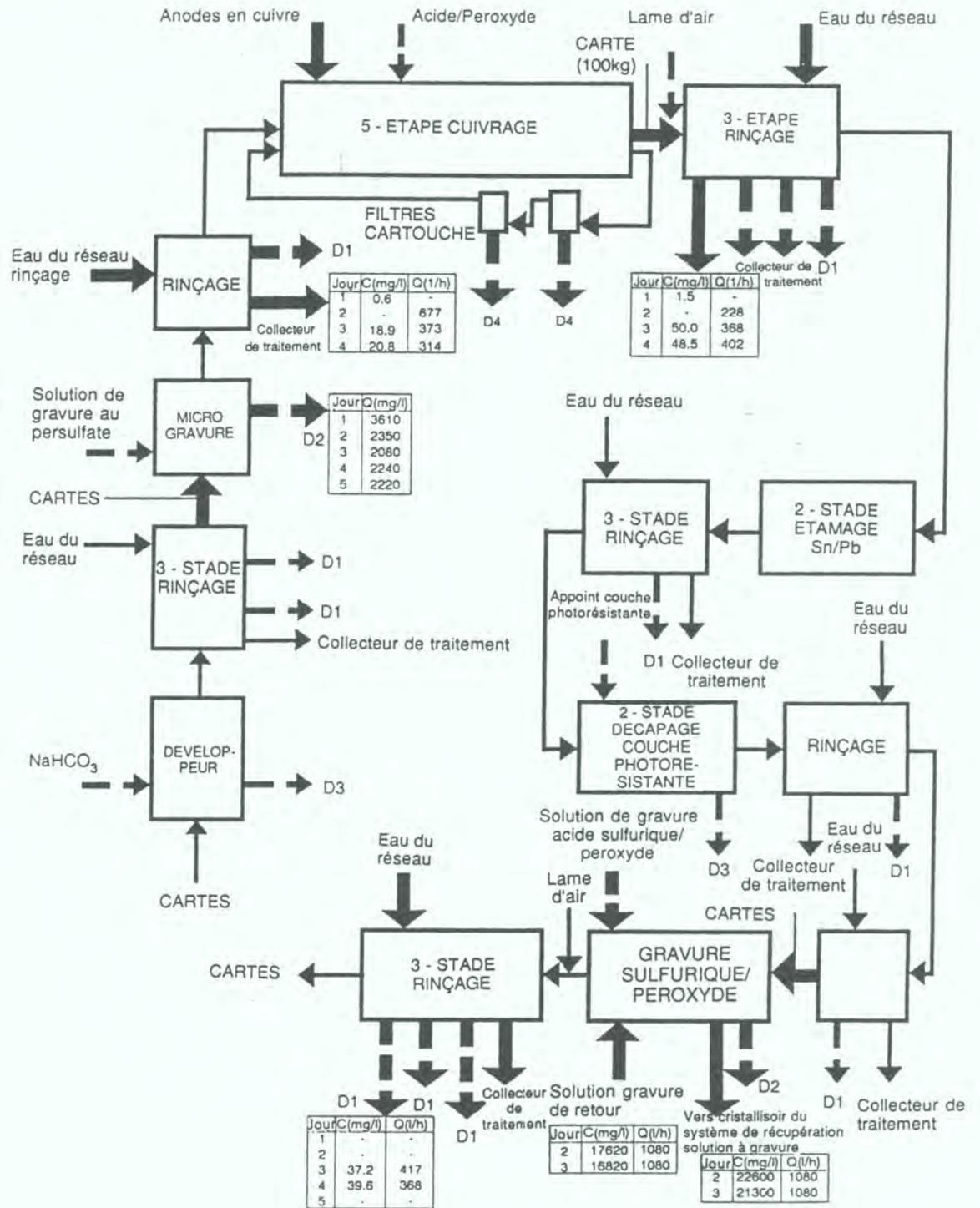


Figure 4 : Organigramme de processus pour la chaîne 9000 (Cuivrage, Etamage Sn/Pb, Décapage couche photorésistante et Gravure)



LEGENDE
 C - Concentration totale de cuivre
 Q - Débit

REJETS
 D1 - Quotidien vers canalisation de traitement
 D2 - Mensuel vers réservoir de retenue
 D3 - Quotidien vers réservoir de retenue
 D4 - Remplacement trimestriel des filtres

PHASE 2 : BILAN-MATIERES : SORTIES ET ENTREES DE PROCESSUS

En raison de la complexité relative de l'usine de cartes à circuits imprimés, les données d'entrée et de sortie recueillies sur les différentes opérations élémentaires furent inscrites dans les organigrammes de processus en fonction des Etapes 4-10 du manuel d'audit. On nota en outre tous les secteurs dont le fonctionnement était inefficace ainsi que toutes les possibilités de réduction des déchets. Ces possibilités seront abordées plus loin lors des Etapes 15-18.

Etape 4 : Détermination des entrées

Des informations sur les entrées furent obtenues à partir de mesures des additions de produits chimiques et de consommation d'eau, en répertoriant tous les secteurs faisant appel au cuivre pour la fabrication des cartes CI ; la gravure des circuits en cuivre sur les cartes nécessite un traitement acide pour la préparation de surface ou pour la finition, et représente par conséquent un apport important de cuivre. Dans le cas de la chaîne d'électrodéposition, le poids de l'anode en cuivre utilisée (source du cuivre pour le revêtement par électrolyse) fut estimé à partir de données historiques. Les apports dans la station d'épuration des eaux usées furent déterminés en mesurant les flux totaux d'eaux usées et leurs concentrations.

Les données d'entrée sur le cuivre pour les cinq secteurs de production furent ensuite inscrites sur les organigrammes de processus des Figures 2-6.

Etant donnée la nature des matières premières au cuivre (solutions de sulfate cuivrique et cartes laminées au cuivre), on considéra que la manipulation des matériaux ne donnait lieu à aucune perte en amont des opérations de fabrication.

Etape 5 : Relevé de la consommation d'eau

Les débits d'eaux de rinçage furent mesurés à l'entrée des cuves de rinçage en relevant le temps pris à remplir un réservoir de volume connu, ou en drainant les cuves puis en relevant le temps de remplissage. La société avait récemment installé des limiteurs de débit sur les canalisations d'alimentation d'eau de rinçage, ce qui s'était avéré une mesure efficace pour limiter la consommation d'eau pendant les opérations de rinçage. En règle générale, les débits mesurés étaient en bon accord avec les valeurs nominales des limiteurs de débit.

Les données sur la consommation d'eau furent également enregistrées dans les organigrammes de processus (Figures 3-6).

Etape 6 : Mesure des niveaux actuels de réemploi/recyclage des déchets

Les déchets chargés en cuivre n'étaient généralement pas recyclés dans l'usine. Il existait cependant un cristalliseur en ligne dans la phase gravure acide sulfurique/peroxyde de la chaîne d'électrodéposition. La solution de gravure était pompée dans la cuve par l'intermédiaire d'un échangeur thermique et envoyée dans le cristalliseur à sulfate cuivrique où la solution usagée était refroidie à 16°C. Les cristaux de sulfate cuivrique étaient ensuite précipités, transférés vers les cuves de stockage, puis purgés avant d'être vendus à un atelier d'électroplaque local. La solution de gravure récupérée était retournée à la cuve d'alimentation pour la gravure. La quantité d'agent de gravure réutilisé est décrite en tant qu'entrée dans la Figure 4.

Etape 7 : Quantification des sorties de processus

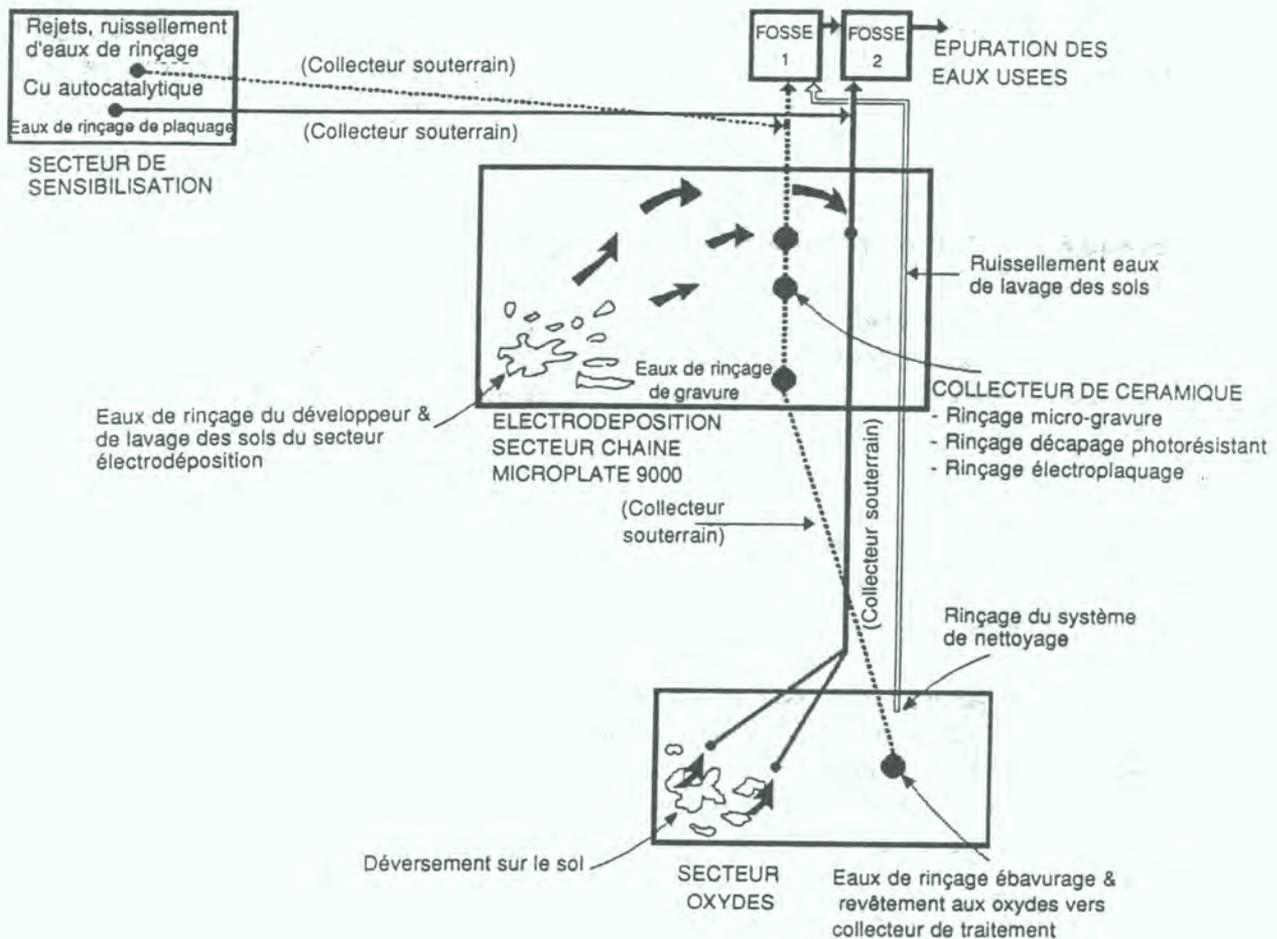
Les sorties de processus associant du cuivre furent identifiées puis quantifiées à partir des fichiers des opérations de cuivrage et de mesures de masses, volumes et concentrations des résidus. Outre les quantités de cuivre plaqué sur les cartes CI qui furent définies à partir des informations de production, les données sur les sorties de processus furent obtenues sur la base de mesures effectuées dans l'usine.

Etape 8 : Prise en compte des eaux usées

Tous les flux d'eaux usées identifiés comme chargés en cuivre (sur la base des Etapes 1 et 7), furent étudiés selon un programme d'échantillonnage rigoureusement planifié et conçu. L'échantillonnage fut réalisé au cours d'une semaine entière de production afin de couvrir la gamme complète de conditions d'exploitation et pour s'assurer que les données seraient représentatives. Des échantillons composites furent prélevés pour tous les écoulements d'eaux usées. On préleva par contre des échantillons ponctuels dans le cas des cuves à bain et des rejets. D'autres échantillons furent prélevés en outre sur les sorties de la station d'épuration. Tous les échantillons étaient soigneusement étiquetés, répertoriés et envoyés pour analyses à un laboratoire indépendant pour une recherche de cuivre et autres éléments. Les flux d'eaux usées et les volumes des cuves furent aussi relevés. Les informations concernant les eaux usées sont décrites dans les Figures 2-6.

Par ailleurs, un organigramme décrivant l'implantation des collecteurs d'évacuation dans l'usine fut établi (Figure 7). On effectua des essais aux colorants afin de déterminer le devenir des flux d'eaux usées ainsi que l'implantation et les interconnexions des collecteurs de surface. Ces études mirent en évidence un certain nombre de dispositifs de canalisations inutiles et complexes qui furent ultérieurement modifiés par les ingénieurs du bureau d'étude de la société.

Figure 7 : Implantation des collecteurs de traitement



Etape 9 : Prise en compte des émissions gazeuses

Les études sur le site révélèrent la présence d'un certain nombre d'émissions gazeuses. Celle-ci étaient en grande partie associées à des hottes d'extraction des fumées destinées à éliminer les particules en suspension dans l'air liées aux opérations de meulage ainsi que les vapeurs des acides et solvants issues des sections de fabrication suivantes.

Etant donné que les problèmes d'eaux usées étaient considérés comme une préoccupation prioritaire de l'audit en cours, il fut décidé que les émissions gazeuses feraient l'objet d'une deuxième étude ultérieure.

Etape 10 : Prise en compte des déchets éliminés hors site

La quantité de déchets stockés sur site puis transportés hors site pour élimination fut estimée à partir d'une enquête dans l'usine et d'une étude des dossiers de l'entreprise. Les déchets classés éliminés hors site comportaient des fines de cuivre (270 g/100 m² de cartes), des filtres à cartouche et des tourteaux issus du filtre-presse (1360 kg/semaine). Les résidus d'activateur étain-plomb (0,7 m³/an) étaient stockés sur site en tant que déchets liquides classables.

Etape 11 : Regroupement des données d'entrée et sortie pour les opérations élémentaires

On commença ensuite à établir les bilans-matières en rassemblant l'ensemble des données d'entrée et de sortie, converties en unités standard, à partir des organigrammes de processus (Figures 2-6).

Etape 12 : Etablissement d'un bilan-matières préliminaire pour les opérations élémentaires

Sur la base des informations recueillies, les bilans préliminaires furent établis pour chaque secteur de fabrication.

a) Ebavurage de sensibilisation

La machine à ébavurer située dans la zone de sensibilisation fonctionnait en mode recyclage (voir Figure 2). L'eau de retour était filtrée en continu pour éliminer les fines de cuivre avant de repartir alimenter la machine à ébavurer. Les fines de cuivre ainsi captées étaient ensuite lavées à contre-courant après passage dans le filtre à sable puis récupérées dans le filtre à manche. Les apports en cuivre provenaient essentiellement du brossage des cartes, et se retrouvaient en sortie du filtre à sable, du filtre de lavage à contre-courant et du filtre à manche. Il ne fut pas possible d'établir un bilan de masse exact à partir des informations disponibles, car l'épaisseur du cuivre enlevé sur la surface des cartes ne pouvait être déterminée avec précision. La société prévoyait cependant, dans un avenir proche, d'acheter un microscope à haute résolution qui permettrait de déterminer et de contrôler avec précision les épaisseurs de cuivre ébavuré.

Etude de cas 3 : Fabrication de cartes à circuits imprimés

b) Sensibilisation (plaquage autocatalytique)

Le tableau ci-dessous illustre le bilan de matière préliminaire pour la chaîne de plaquage autocatalytique.

Entrées de cuivre (kg/semaine)	
Fines de cuivre issues de l'ébavurage	0,040
Cartes (micro-gravure)	30,700
Solution de gravure	3,000
Solution autocatalytique	25,000
Total	58,743

↓

Dépôt autocatalytique	
-----------------------	--

↓

Sorties de cuivre (kg/semaine)	
Cartes (revêtues)	21,283
Eaux de rinçage	4,867
Rejets	0,261
Rejets de micro-gravure	29,000
Cuivre chimique (stockage)	4,400
Total	60,811

c) Chaîne de plaquage électrolytique (Microplate 9000)

Entrées de cuivre (kg/semaine)	
Cartes (micro-gravure)	0,667
Cartes (gravure acide sulfurique/peroxyde)	209,586
Anodes en cuivre	124,500
Retour solution de gravure	743,904
Total	1078,657

↓

Chaîne Microplate 9000	
------------------------	--

↓

Sorties de cuivre (kg/semaine)	
Cartes (revêtues)	100,078
Eaux de rinçage	1,474
Rejets	0,523
Solution de gravure récupérée (18 l/min) y compris 217,000 kg cuivre cristallisé)	948,240
Total	1050,315

Au cours de la période d'étude, on n'observa ni ajout ni rejet de la solution acide sulfurique/peroxyde dans les cuves à gravure. Comme le cristalliseur maintenait une concentration

constante de cuivre dans la cuve à gravure, ces entrées et sorties ne furent pas prises en compte dans l'étude du bilan-matières.

d) Station de revêtement aux oxydes

Entrées de cuivre (kg/semaine)	
Cartes (ébavurage)	0,653
Cartes (micro-gravure 10×10^{-6} pouces)	0,825
Total	1,478



Ebavurage, revêtement aux oxydes et finition laquée



Sorties de cuivre (kg/semaine)	
Eaux de rinçage	0,195
Rejets (collecteurs)	0,003
Rejets (réservoir de retenue)	0,311
Fines de cuivre (vers collecteur)	0,632
Augmentation estimée du cuivre dans bain de micro-gravure aux oxydes	0,347
Total	1,488

e) Epuration des eaux usées

Entrées de cuivre (kg/semaine)	
Apport fosse 1	12,493
Apport fosse 2	12,893
*Solution concentrée usagée	1,095
Total	26,481



Système d'épuration des eaux usées



Sorties de cuivre (kg/semaine)	
Rejet à l'égout	5,239
Boues issues du filtre-presse (estimé par différence)	21,242
Total	26,481

* Aucun traitement de solution de cuivre concentrée pendant la période d'étude.

Etude de cas 3 : Fabrication de cartes à circuits imprimés

Le volume de boues issues du filtre-pressé à plaque fut estimé par déduction, car les boues n'étaient enlevées du bassin de décantation qu'à intervalles irréguliers et peu fréquents.

On établit par ailleurs un bilan-matières basé sur l'ensemble des eaux de rinçages et des rejets quotidiens vers les collecteurs de traitement, et sur les apports dans le système d'épuration, pour les jours 1 - 4. (Ce bilan de masse représente essentiellement les eaux de rinçage, car la plupart des rejets s'effectuaient au jour 5.)

Entrées de cuivre (kg)	
Rinçages	
<i>Sensibilisation</i>	
Rinçage du détergent alcalin	0,014
Rinçage micro-gravure	4,404
Rinçage acide	0,115
Dépôt autocatalytique	0,259
Rinçage acide	0,019
<i>Chaîne d'électrodéposition</i>	
Micro-gravure	0,191
Déversement sur le sol	0,276
Dépôt électrolytique	0,607
Rinçage gravure	0,600
<i>Revêtement aux oxydes</i>	
Ebavurage	0,653
Gravure	0,025
Rejets	
<i>Chaîne d'électrodéposition</i>	
Rinçage micro-gravure	0,048
Rinçage dépôt électrolytique	0,235
Rinçage gravure	0,180
Total	8,346

⇓

Collecteurs	
-------------	--

⇓

Sorties de cuivre (kg)	
Apports au système d'épuration (total)	9,192

Etape 13 : Evaluation du bilan-matières

Chacun des bilans-matières établis s'avéra relativement bien équilibré étant donné la complexité de l'usine de fabrication de cartes CI et le grand nombre de sources de résidus cuivriques. 91% environ de la charge

de cuivre entrant dans le processus de fabrication au cours des jours de production 1 à 4 se retrouvaient dans les mesures effectuées sur les sources d'eaux usées. Les 9% restants pouvaient probablement s'expliquer par les quantités de cuivre délavé lors du nettoyage de sols contaminés et par quelques petites sources de cuivre non comptabilisées dans l'étude (ex : chaîne de dorure).

Les conclusions suivantes furent tirées de cette étude :

- Le rinçage de micro-gravure représentait environ 90% de la charge cuivrique totale dans la zone de sensibilisation.
- Le rinçage de micro-gravure représentait environ 56% de la charge cuivrique totale dans les eaux de rinçage traitées par la station d'épuration.
- Les autres sources de contamination des eaux de rinçage étaient le rinçage de dépôt électrolytique, le rinçage de gravure acide acide sulfurique/peroxyde, et le rinçage d'ébavurage (zone de revêtement aux oxydes).

PHASE 3 : SYNTHÈSE

Etape 14 : Affinage du bilan-matières

Bien qu'ayant fourni des résultats très satisfaisants, les travaux sur le bilan-matières préliminaire avait néanmoins comporté un certain nombre d'hypothèses et d'estimations (par différence) ; c'était notamment le cas pour les secteurs de revêtements aux oxydes et de traitement des eaux usées. En conséquence, la décision fut prise d'affiner le bilan-matières en étayant les estimations par un contrôle complémentaires et des informations supplémentaires.

Etape 15 : Etude des mesures évidentes de réduction des déchets

A partir des informations accumulées lors de l'audit et des observations recueillies au cours des études détaillées de l'usine, on identifia plusieurs mesures évidentes permettant de réduire les déchets et d'améliorer les performances. Ces mesures étaient réparties là encore sur les cinq processus de fabrication plus la station d'épuration.

a) Opérations d'ébavurage (zone de sensibilisation)

On avait constaté que le filtre à sable associé aux opérations d'ébavurage était lavé à contre-courant avec l'eau (sale) de retour, ce qui entraînait les fines de cuivre à travers le lit de sable et pouvait en outre relarguer les fines dans l'eau filtrée. L'eau diffusée pour l'ébavurage présentait une teneur en solides en suspension de 104 mg/l. Cette concentration élevée était probablement responsable de la fine couche de poudre observée sur les cartes à circuits imprimés après le séchage. Même si cette couche ne représentait qu'un apport très faible de cuivre dans la chaîne de sensibilisation, elle avait néanmoins un effet nuisible potentiel sur le contrôle de qualité du produit.

Les fines de cuivre récupérées par le filtre à manche du système de lavage à contre-courant (2,6 kg pour 3 jours de production) étaient transportées sur une décharge étanche en même temps que les tourteaux de boue issus du filtre-pressé. Pourtant, les fines se composent de cuivre relativement pur, et il fut confirmé, après examen, qu'elle avait une valeur d'environ US\$0,9/kg, correspondant à un revenu potentiel assez faible de US\$275 par an.

b) Chaîne de sensibilisation (dépôt autocatalytique)

Comme indiqué précédemment, les résultats de la caractérisation des eaux usées révélait qu'une charge très importante de cuivre provenait du rinçage de micro-gravure (90% de la teneur en cuivre des eaux de rinçage liées à la sensibilisation). La chaîne de sensibilisation est une chaîne de déposition à fonctionnement manuel ; on constata qu'il n'y avait pas de temporisation pour l'égouttage après la micro-gravure. On introduisit donc dans le processus un temps d'égouttage de 1 minute et un programme de surveillance fut mis en place pour contrôler les améliorations des concentrations dans les déchets. Il fut convenu finalement d'installer plus tard une cuve de pré-rinçage statique pour réduire encore les teneurs en cuivre dans les eaux de rinçage provenant de cette source.

c) Chaîne d'électrodéposition

Il fut constaté que les pompes de recirculation sur la chaîne d'électrodéposition avaient des joints mécaniques non-étanches, ce qui entraînait une cristallisation du cuivre sur les arbres des pompes et sur le sol environnant. Ce cuivre était ensuite récupéré par l'eau de rinçage du développeur qui s'écoulait directement sur le sol et s'évacuait dans le collecteur conduisant à la Fosse 12. La charge cuivrique provenant de cette source, mesurée sur un collecteur proche du rinçage du développeur, était d'environ 70 mg.

Bien que cette charge polluante évacuée dans le collecteur soit faible, on estima néanmoins qu'il serait possible de réduire cet apport de polluant à la station d'épuration en instaurant un programme de maintenance approprié pour éviter de telles fuites, en installant des bacs égouttoirs et en améliorant plus généralement la propreté des zones de cuivrage. En effet, un bon entretien de tous les secteurs de transformation et de manipulation du cuivre pouvait empêcher les apports de déchets cuivriques issus d'autres zones de fabrication (par exemple, gravure et cristallisation du cuivre) d'arriver jusqu'aux canalisations d'évacuation.

d) Zone de revêtement aux oxydes

L'eau de rinçage issue de l'ébavurage dans la section de revêtement aux oxydes était rejetée directement dans le collecteur de traitement. Un filtre à manche était fixé au tuyau avant l'arrivée au collecteur, mais lors de l'enquête sur site, on s'aperçut que cet appareil de captage était inefficace et qu'il laissait passer des quantités importantes de fines de cuivre dans le circuit d'évacuation. En outre, les fines de cuivre se dissolvaient ensuite à l'intérieur des canalisations au contact d'eaux usées acides. À l'aide de matériel disponible dans les stocks de l'usine, on ajouta un système de filtration en circuit fermé, semblable à celui de la zone de sensibilisation. Cette mesure de contrôle relativement simple permit d'éliminer cette source de résidus cuivriques.

e) Système d'épuration des eaux usées

Un certain nombre d'opérations inefficaces dans le système d'épuration furent mises en évidence au cours de l'audit. Tout d'abord, le système comportait, dans la fosse 1, l'ajout d'alun aux eaux usées après correction du pH 8,5. L'alun est un coagulant efficace pour les matières colloïdales, mais pas nécessairement pour la précipitation des hydroxydes de métal, et il augmente en outre le volume de boues produites.

Deuxièmement, le bassin de sédimentation existant était mal conçu. Une capacité insuffisante d'enlèvement des boues et la présence de boues flottantes causaient des problèmes de rejet d'effluents.

Troisièmement, dans un effort pour surmonter le problème posé périodiquement par les rejets de fortes charges cuivrique au tout-à-l'égout, on avait installé deux filtres à sable en parallèle, après le bassin de sédimentation. Or, on constata sur la base des résultats de la Figure 6, que les filtres à sable n'étaient pas efficaces pour éliminer les solides en suspension ou le cuivre des eaux usées.

Sur l'hypothèse d'une réduction de 50% des teneurs en cuivre issu de la micro-gravure en améliorant le rinçage, et d'une élimination des résidus de cuivre provenant des ébavurages et du collecteur dans la zone d'électrodéposition, on pouvait s'attendre à une diminution de 40% des charges polluantes dans les eaux de rinçage traitées dans la station d'épuration.

Etape 16 : Ciblage et caractérisation des déchets difficiles à traiter

La Figure 6 permet de voir que les concentrations de solides en suspension et de cuivre en entrée du filtre à sable sont à peu près égales aux concentrations en sortie du filtre. En outre, le cuivre rejeté au tout-à-l'égout se trouvait principalement sous forme dissoute (75-95% de la teneur en cuivre totale) et dépassait les seuils acceptables de rejet aux jours 2 et 5. Les expériences préalables en matière de capacité des eaux usées au

traitement dans l'industrie des cartes CI avaient établi que les eaux usées provenant du cuivrage autocatalytique étaient particulièrement difficiles à traiter en raison de la présence d'agents de chélation dans la solution de cuivrage autocatalytique. Par ailleurs, les agents de chélation étaient également présents dans la solution de décapage de la couche photorésistante. On constata que, lors du rejet de cette dernière solution dans la Fosse 2 aux jours 2 et 4, des concentrations de cuivre bien plus importantes étaient relevées dans les eaux rejetés au tout-à-l'égout aux jours 1 et 3. Le jour 5 (vendredi) représentait une journée de traitement atypique car les vidanges hebdomadaires des cuves dans les zones de sensibilisation et de revêtement aux oxydes se produisaient ce jour-là.

L'association d'eaux chargées en agents de chélation et en cuivre fut par conséquent considérée comme générant un "déchet problématique".

Des essais de traitabilité furent réalisés en utilisant de l'alun, de l'hydroxyde de sodium, de la chaux et toute une gamme de flocculants sur des échantillons prélevés sur chaque source polluante et sur des échantillons composites. Ces essais révélèrent que la plupart des eaux usées chargées en cuivre pouvaient être traitées sans problème par précipitation des hydroxydes de métal. Par contre, les agents de chélation présents dans l'eau de rinçage des revêtements autocatalytique et aux oxydes affectaient négativement la précipitation aux hydroxydes de métal et devaient par conséquent être isolés et traités séparément.

Comme le montre le Tableau 1, les essais réalisés sur la station d'épuration indiquèrent que les teneurs en cuivre relativement élevées pouvaient être réduites à des concentrations inférieures à la norme de 5 mg/l à l'aide de chaux et d'un flocculant polymérique anionique. En règle générale, la chaux, bien que générant un plus grand volume de boues, produisait un précipité plus dense et mieux décantable que l'hydroxyde de sodium.

Tableau 1 : Essais de traitabilité avec la chaux et avec un polymère anionique

Echantillon	Brut/Traité	Cuivre total dans liquide surnageant (mg/l)
<i>Sensibilisation</i>		
Rinçage micro-gravure	Brut	260,0
	Traité	0,3
Rinçage autocatalyse	Brut	9,1
	Traité	9,0
<i>Chaîne électrodéposition</i>		
Rinçage micro-gravure	Brut	22,0
	Traité	0,2
Rinçage cuivrage	Brut	33,0
	Traité	0,2
Rinçage cuivrage		
Rinçage décapage photorésistant (50 : 50)	Brut	19,0
	Traité	20,0
Collecteur électrodéposition	Brut	44,0
	Traité	0,1
Rinçage gravure acide acide sulfurique/peroxyde	Brut	40,0
	Traité	0,1
<i>Revêtement aux oxydes</i>		
Rinçage micro-gravure	Brut	150,0
	Traité	1,1
<i>Epuraton des eaux usées</i>		
Apports	Brut	11 74 13 73 8,4*
	Traité	0,4 0,6 0,4 4,0 0,7

* Echantillons ponctuels à intervalle d'1 heure

Etape 17 : Tri des déchets

Les résultats des études de l'audit démontraient clairement la nécessité d'isoler les déchets dans un programme de réduction à long terme, pour pouvoir mettre au point un système satisfaisant et rentable. Ce aspect est décrit dans l'Etape 18 ci-dessous.

Etape 18 : Elaboration d'options à long terme de réduction des déchets

Les options de réduction des déchets décrites à l'Etape 15 permettaient de réduire les charges polluantes et d'obtenir des économies de coût importantes. Cette nouvelle étape décrit maintenant la mise au point d'un

traitement efficace en aval et le système d'épuration et de récupération des eaux usées conçu à partir des résultats de l'audit et des études de traitabilité, avec le concours d'un cabinet de conseil en ingénierie.

Les principaux points envisagés dans la conception du système étaient les suivants :

- Séparation de toutes les eaux usées contenant des agents de chélation en les isolant du système classique de précipitation aux hydroxydes de métal.
- Isolement et traitement/récupération séparée de toutes les eaux de rinçage contenant des agents de chélation et des bains de solutions concentrées.
- Récupération de tous les bains (ne contenant pas d'agents de chélation) dans un réservoir de retenue, pour dosage ultérieur dans le système classique de traitement selon un débit contrôlé (afin d'éviter les apports brusques en charge cuivrique).
- Amélioration des systèmes d'ajustement de pH, d'ajout de polymère, de clarification et de filtration au sable pour permettre une précipitation efficace aux hydroxydes de métal et le rejet ultérieur d'effluents de bonne qualité.

Aucune information sur les types ou les concentrations d'agents de chélation n'était disponible auprès des fournisseurs de produits chimiques.

Les sources d'eaux usées chargées en agents de chélation étaient les suivantes :

Source	Débit (l/h) ou volume (l)	Teneur en cuivre (mg/l)
Bain de détergent faiblement alcalin	400 litres	53,7
Rinçage du détergent faiblement alcalin	518 litres	0,8 (max. 1,7)
Bain de plaquage autocatalytique	588 litres	11000
Soutirage plaquage autocatalytique	10 l/h	11000
Rinçage plaquage autocatalytique	770 l/h	7,7 (max. 10,3)
Bain décapage photorésistant	920 litres	Inférieur à 5,0
Rinçage décapage photorésistant	390 l/h	-

Le système de traitement proposé incorporait les principaux éléments suivants :

- Récupération de toutes les eaux usées non-complexées dans un bassin commun pour ajustement de pH à la soude caustique (ou à la chaux) à un pH de 9,0-9,5.
- Installation d'un réservoir de rinçage statique après le bain de cuivrage autocatalytique. Le réservoir de rinçage statique recueillerait la plupart des matières entraînées issues du bain de plaquage autocatalytique et serait ensuite drainé quotidiennement pour récupération électrolytique. Le flux continu d'eau de rinçage résultant (contenant des agents de chélation), fonctionnant sur le principe du lavage à contre-courant, serait ensuite rejeté directement au tout-à-l'égout.
- Séparation, filtrage par cartouche et rejet direct des eaux de rinçage issues du décapage de la couche photorésistante (contenant des agents de chélation) dans le réservoir d'eau clarifiée.
- Séparation et rejet direct des eaux de rinçage issues du plaquage autocatalytique et des eaux de rinçage du détergent (contenant des agents de chélation) dans le réservoir d'eau clarifiée.

- Séparation et récupération des rejets du décapage de la couche photorésistante et du développeur dans un réservoir de retenue distinct pour ajustement de pH et rejet direct.
- Séparation et récupération des bains de cuivrage autocatalytique (contenant des agents de chélation), des purges contrôlées et du contenu de la cuve de finition statique en même temps que les bains de détergent alcalin (contenant des agents de chélation) et de micro-gravure (sensibilisation) dans un réservoir de recirculation par lot distinct, pour récupération électrolytique du cuivre. Des options possibles faisant appel à une précipitation des sulfures ou à un traitement au borohydrure de sodium furent également envisagées mais écartées pour des raisons techniques et financières.
- Traitement du condensat des solutions traitées par électrolyse sur un lit chélatant de résines échangeuses d'ions avant rejet dans le réservoir d'eau clarifiée.
- Séparation et récupération des bains de nature générale (ex : micro-gravure, pré-trempe, solutions acides et alcalines, etc.) dans un réservoir de retenue pour dosage ultérieur dans le puits d'ajustement de pH.
- Modification du bassin de sédimentation existant pour y incorporer un réservoir d'eau clarifiée et permettre le captage de déversements accidentels ainsi qu'un stockage d'urgence des déchets.
- Aménagement d'un bac de clarification à plaque inclinée à la suite des unités existantes de contrôle de pH et de floculation, avec pompage des boues issues du réservoir de stockage pour déshydratation dans le filtre-presse à plaque. Le volume ainsi réduit des tourteaux de boue serait ensuite éliminé dans une décharge étanche.
- Bien qu'on anticipât que la teneur en cuivre des effluents issus du système d'épuration proposé serait conforme aux normes de rejet existantes spécifiant un seuil de 5 mg/l, on recommanda à la société d'améliorer les filtres à sable et de les inclure dans le programme d'épuration, en prévision d'une proposition de nouvelles normes qui abaisseraient le seuil des teneurs en cuivre à 2 mg/l. Dans cette éventualité, les eaux usées clarifiées seraient épurées à travers un lit à double milieu de sable et d'antracite afin d'augmenter la capacité des filtres à capter les solides en suspension.

Etape 19 : Evaluation environnementale et économique des options de réduction des déchets

Comme la Société C était confrontée à une procédure judiciaire entamée par les autorités locales pour violation des normes de rejet, le rendement sur les investissements ne constituait pas la préoccupation majeure de cette étude de cas ; ce qui importait plutôt, c'était la mise au point du système le plus efficace et le plus rentable possible en matière de réduction/traitement des déchets, ainsi que la qualité de l'effluent final rejeté à l'égout qui devait être compatible avec les exigences de contrôle de pollution des autorités locales.

A partir de l'Etape 18, un certain nombre d'options de récupération et de traitement des déchets avaient été identifiées et un système de traitement avait pu être développé sur la base de considérations techniques. La mise en oeuvre des possibilités de réductions décrites plus haut, ainsi que la séparation et la récupération du cuivre issu des déchets contenant des agents de chélation et des résidus de micro-gravure (sensibilisation), permettraient néanmoins selon les estimations d'économiser US\$22.000 par an sur le transport des boues et les frais de mise en décharge étanche. Il fut évalué en outre qu'un total de US\$3.500 par an pourrait être récupéré sur le coût des achats de cuivre grâce au système de récupération électrolytique.

Le coût total d'installation du système proposé, comportant les équipements principaux (bac de clarification à plaque inclinée, réservoir de stockage/épaississement des boues, filtre-pressé à plaque, unité de récupération électrolytique du cuivre, unité d'échange d'ions), le pompage de séparation et ses canalisations, l'instrumentation, les appareils de commande, et un bâtiment de 40 m² s'élevait à US\$ 265.000. Mais étant donné l'historique de la société en matière de problèmes de pollution, les poursuites judiciaires en cours et le temps considérable passé par les dirigeants pour tenter de résoudre quotidiennement les problèmes de gestion des déchets, on pouvait considérer que la mise en oeuvre du système de séparation et de traitement/récupération des déchets constituait de l'argent bien dépensé et un bon investissement pour l'avenir.

Etape 20 : Elaboration et mise en oeuvre d'un plan d'action : réduction des déchets et amélioration de la productivité

Les résultats de l'audit et des études de réduction/traitement des déchets furent présentés à la direction de la société, et des projets furent élaborés pour mettre en place les mesures de réduction et le système de traitement/récupération préconisés.

La démarche audit/réduction des déchets avait atteint les objectifs suivants :

- Compréhension approfondie de toutes les sources de résidus de cuivre dans l'usine.
- Identification et quantification des principales sources de résidus de cuivre.
- Evaluation des performances des processus industriels à partir des informations recueillies sur les processus élémentaires, les matières premières, la consommation d'eau, les produits finis et la génération de déchets.
- Identification des possibilités de réduction des déchets.
- Suppression de certains déchets et des problèmes posés par leur élimination.
- Identification des déchets difficiles nécessitant une attention spéciale.
- Développement d'un système rentable, efficace et intégré de séparation des déchets et de traitement/récupération des eaux usées.
- Développement d'un système de gestion des déchets assurant la conformité avec la réglementation sur les rejets et permettant d'améliorer les relations publiques.

ANNEXE 1 : METHODES DE MESURE DES FLUX D'EAUX USEES ET DES FLUX GAZEUX

Mesure des flux d'eaux usées

La présente section décrit des méthodes simples permettant de mesurer les flux dans les rigoles d'évacuation à l'aide de déversoirs de mesure à paroi mince avec échancrure triangulaire (en V) ou rectangulaire.

Le rejet sur les déversoirs est calculé en fonction de la profondeur de liquide dans le caisson (colonne d'eau), de la taille et de la forme de la zone de déversement, et d'un coefficient déterminé expérimentalement.

Les déversoirs de mesure seront placés verticalement et perpendiculairement aux parois de la rigole, et devront être construits en métal, en bois ou autre matériau solide à surface lisse.

L'intersection de la plaque du déversoir avec les parois et le fond de la rigole doit être étanche et fixe, isolée si nécessaire avec du mastic ou un autre matériau d'étanchéisation. Les déversoirs de mesure seront installés de préférence en l'absence d'écoulement pour s'assurer d'une bonne étanchéité. Lorsqu'il s'agit de flux s'écoulant en permanence 24 heures sur 24 et 7 jours par semaine, des problèmes risquent de survenir à moins qu'on ne puisse stopper temporairement la production. Dans de tels cas, il conviendra d'installer le déversoir dans des conditions de faible écoulement afin de faciliter la procédure d'installation et de minimiser le risque éventuel de fuites autour ou en-dessous du déversoir.

En règle générale, le déversoir devra être placé dans la mesure du possible dans une rigole droite, rectangulaire et horizontale. La longueur idéale de celle-ci ne doit pas être inférieure à 10 fois la largeur de la nappe formée par l'écoulement sur le déversoir à la hauteur maximale de colonne.

La forme et la taille de la rigole en aval du déversoir est sans importance, mais le niveau d'eau dans celle-ci doit se situer à une distance verticale en-dessous de la crête suffisante pour garantir un déversement sans entrave et parfaitement ventilé.

Les déversoirs en V permettent une mesure plus précise que les échancrures rectangulaires pour des rejets beaucoup plus faibles. En outre le déversement sur une échancrure en V augmente plus rapidement en fonction de la colonne d'eau qu'avec le déversoir rectangulaire. Ainsi, l'utilisation du déversoir en V sera préférable lorsqu'il existe de fortes variations de flux au cours de la journée. Par contre, un déversoir rectangulaire avec une crête large pourra s'avérer nécessaire dans le cas de gros écoulements.

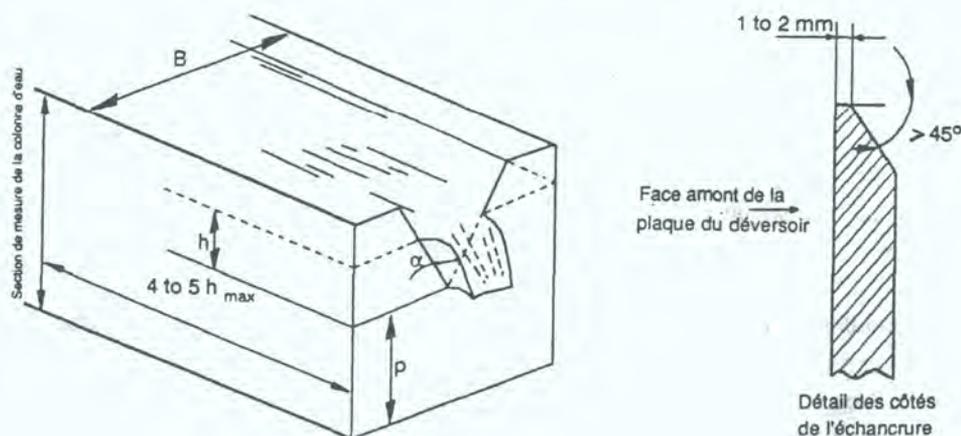
En présence de quantités importantes de solides en suspension, il conviendra de s'assurer qu'il n'y ait pas d'accumulation de débris flottants ou de solides sédimentés derrière le déversoir lors des mesures du niveau d'eau.

Déversoirs à échancrure triangulaire (en V)

Il s'agit d'un déversoir avec une échancrure symétrique en forme de V dans une plaque mince verticale. Une illustration graphique est présentée dans la Figure A.

La bissectrice de l'échancrure doit être verticale et équidistante des deux parois de la rigole.

Figure A: Déversoir à paroi mince et échancrure triangulaire



Les surfaces planes de l'échancrure doivent former des arêtes vives à leur intersection avec la face amont de la plaque. Les surfaces de l'échancrure, mesurées perpendiculairement à la face de la plaque, doivent avoir une largeur de 1-2 mm. Les bords aval de l'échancrure seront chanfreinés si l'épaisseur de la plaque dépasse 2 mm, largeur maximale autorisée pour la surface de l'échancrure. La surface du chanfrein doit former un angle d'au moins 45° avec la surface de l'échancrure.

La formule de Kindsvater-Shen est approprié pour tous les angles d'échancrure (α) compris entre 20° et 100° :

$$Q = C_e \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \frac{\alpha}{2} h_e^{5/2}$$

où

Q	=	flux d'eaux usées en mètre cube par seconde
C_e	=	coefficient de rejet (non-dimensionnel)
g	=	accélération de la pesanteur = 9,81 mètres par seconde au carré
α	=	angle compris entre les bords de l'échancrure, en degré
h_e	=	colonne mesurée au-dessus du déversoir, en mètre
	=	h (colonne mesurée) + k_h (pour compenser les effets combinés de la viscosité et de la tension superficielle)

En outre, p = hauteur de la crête du déversoir au-dessus du lit amont de la rigole; et B = largeur de la rigole à l'intersection avec le déversoir (Cf. Figure A).

Le facteur k_h est faible et peut être négligé en pratique avec une perte minimale de précision; par conséquent, on peut présumer h_e égal à h .

C_e est fonction des trois variables h/p , p/b et α . Dans la plupart des cas, l'emploi d'une valeur standard de 0,6 permet une précision suffisante. Pour plus amples renseignements sur les faibles variations de C_e selon le déversoir utilisé, on pourra se reporter à la norme internationale ISO 1438/1 1980 sur les "Mesure d'écoulement d'eau dans des conduites à écoulement libre à l'aide de déversoirs et de canaux de Venturi".

La formule pour le déversoir en V peut donc se simplifier comme suit :

$$Q = 1,42 \tan \alpha/2 h^{5/2}$$

Pour des raisons liées à la marge d'erreur et au manque de données expérimentales, les restrictions suivantes s'appliquent à l'emploi de cette formule :

- h/p limité à la plage 0,1-2,0 pour une échancrure de 90°, et non supérieur à 3,5 pour tous les autres angles dans la plage 20°-100° ;
- p/B limité à 0,1-1,0 pour un angle d'échancrure de 90°, et 0,1-1,5 pour les autres valeurs de α ;
- h au moins égal à 0,06 mètres ;
- p au moins égal à 0,09 mètres.

En l'absence d'équipement de mesure continue du niveau (par exemple, du type permettant d'enregistrer automatiquement les niveaux pour un type et une taille donnés de déversoir), les relevés de hauteur du déversoir pourront s'effectuer à l'aide d'une jauge étalonnée, placée au centre de la rigole en amont du déversoir et éloignée du point immédiat de turbulence. La position de la jauge est considérée satisfaisante si elle se trouve à une distance égale à 4-5 fois la colonne maximale ($4-5 h_{\max}$) anticipée en amont du déversoir.

Une fois l'extrémité de la jauge en contact avec le fond de la rigole, la profondeur d'immersion à tout moment sera égale à $h + p$. Connaissant p , on peut alors calculer h par différence, puis l'insérer dans la formule du déversoir afin d'obtenir le débit correspondant (Q).

Dans l'alternative, il est recommandé de tracer une courbe d'étalonnage pour une taille donnée de déversoir, indiquant une gamme de valeurs h et les valeurs Q correspondantes. Cette courbe devra être réalisée avant de démarrer les travaux de mesure du débit, afin de pouvoir rapidement évaluer les valeurs Q en fonction de la courbe dès que les valeurs h auront été relevées.

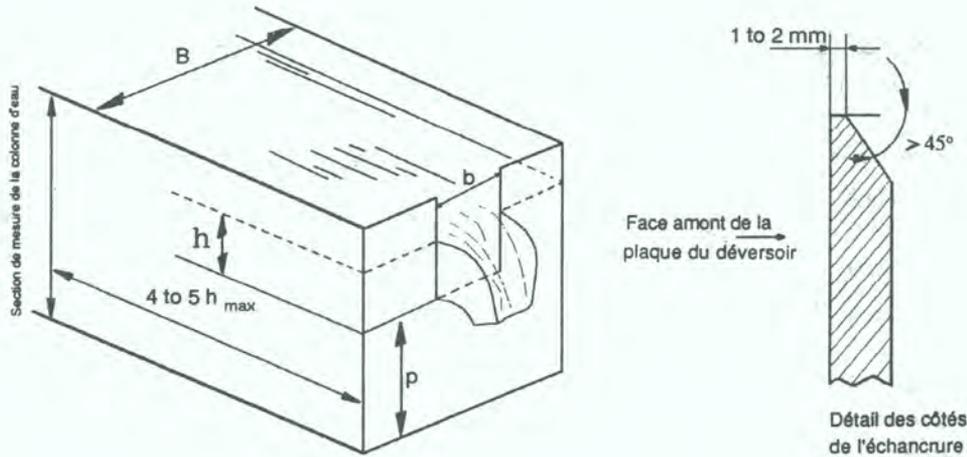
Les mesures de niveau/débit doivent être effectuées au minimum une fois par heure. Des mesures plus fréquentes pourront s'avérer nécessaires en fonction des schémas d'écoulement observés. Les données seront ensuite évaluées pour obtenir un débit journalier moyen (m^3/j) et pour donner une indication sur les taux maximum et minimum de rejets instantanés.

Déversoirs rectangulaires

Le terme de déversoir rectangulaire à paroi mince est une classification générale dont le déversoir à échancrure rectangulaire représente la forme type, et le déversoir sans contraction latérale un cas particulier.

La Figure B en présente une illustration graphique, avec des valeurs intermédiaires de b/B et de h/p . Lorsque $b/B = 1$, c'est à dire lorsque la largeur (b) du déversoir est égale à la largeur de la rigole à son intersection avec le déversoir (B), le déversoir est dit de type "sans contraction latérale".

Figure B : Déversoir à paroi mince et échancrure rectangulaire



La formule de Kindsvater-Shen pour les déversoirs rectangulaires est la suivante :

$$Q = C_e \frac{2}{3} \sqrt{2g} b_e h_e^{3/2}$$

où	Q	=	flux d'eaux usées en mètre cube par seconde
	C_e	=	coefficient de rejet (non-dimensionnel)
	g	=	accélération de la pesanteur = 9,81 mètres par seconde au carré
	b_e	=	largeur effective en mètres
		=	b (largeur mesurée) + k_b (pour compenser les effets combinés de la viscosité et de la tension superficielle)
	h_e	=	colonne mesurée au-dessus du déversoir, en mètre
		=	h (colonne mesurée) + k_h (facteur de compensation semblable à k_b)

En outre comme pour les déversoirs en V, p = hauteur de la crête du déversoir au-dessus du lit amont de la rigole ; et B = largeur de la rigole à l'intersection avec le déversoir (Cf. Figure B).

Les facteurs k_h et k_b sont faibles et peuvent être négligés en pratique avec une perte minimale de précision ; par conséquent, on peut présumer b_e et h_e égaux respectivement à b et h.

Pour les déversoirs rectangulaires, C_e est fonction des deux variables h/p et p/B. Comme dans le cas des déversoirs en V, l'emploi d'une valeur standard de 0,6 permet une précision suffisante dans la plupart des cas.

La formule pour le déversoir rectangulaire peut donc se simplifier comme suit :

$$Q = 1,77 b h^{3/2}$$

Pour des raisons de prudence, les restrictions suivantes s'appliquent à l'emploi de cette formule :

- h/p égal au maximum à 2,5 ;
- h au moins égal à 0,03 mètres ;
- b au moins égal à 0,15 mètres ;
- p au moins égal à 0,1 mètres ;
- soit $(B-b)/2 = 0$ (déversoir sans contraction latérale)
soit $(B-b)/2$ au moins égal à 0,1 mètres (déversoir concentré).

Comme dans le cas des déversoirs en V, la position du dispositif de mesure de la colonne d'eau est considérée satisfaisante s'il se trouve à une distance égale à 4-5 fois la colonne maximale ($4-5 h_{\max}$) anticipée en amont du déversoir.

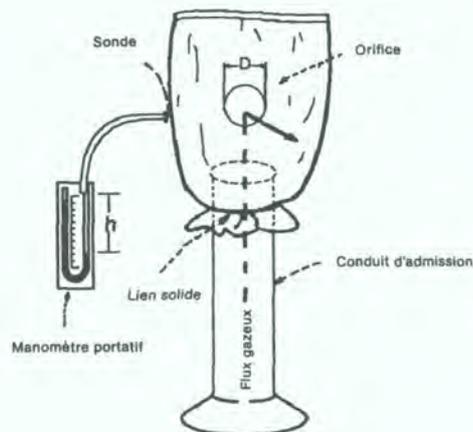
Mesure des flux gazeux

Lors de l'acquisition de données pour un contrôle environnemental ou un audit de déchets, il arrive souvent qu'on ne dispose pas d'instruments de mesure, ou bien que le débit des émissions gazeuses soit trop faible pour pouvoir être mesuré. Même lorsque le débit est suffisant pour les méthodes de mesurage par instrument, la géométrie du dispositif rend parfois les mesures difficiles ou susceptibles d'erreurs. Il s'avère donc nécessaire de disposer d'une méthode permettant une mesure rapide et relativement précise des flux gazeux et pouvant être employée sans requérir d'installations onéreuses ou compliquées.

Dans la plupart des cas, la méthode exposée ci-après est facilement applicable (ou peut servir de vérification), sous réserve seulement qu'on puisse faire s'écouler le gaz à travers un tuyau ou un conduit accessible. Elle a été mise au point par Chesapeake Corporation en Virginie (USA).

Un sac en plastique dans lequel est percé un trou, est fixé sur l'extrémité du tuyau d'arrivée de gaz, entraînant une faible résistance au flux en fonction de la taille du trou. On relève à l'aide d'un manomètre la chute de pression enregistrée dans le sac qui remplit ainsi le rôle d'un orifice ordinaire. La Figure C présente un schéma du sac-orifice.

Figure C : Mesure des émissions gazeuses à l'aide d'un sac-orifice



Comme on peut négliger la compressibilité pour les faibles chutes de pression, l'équation d'orifice suivante est donc applicable :

$$Q = K A \sqrt{2gh}$$

où	Q	=	flux gazeux
	g	=	accélération de la pesanteur
	A	=	surface de l'orifice
	h	=	chute de pression
	K	=	coefficient de rejet y compris facteur de vitesse d'approche

Lorsque la taille du sac est suffisamment grande par rapport au diamètre de l'orifice, on peut prendre 1,0 comme facteur de vitesse d'approche. Des expériences réalisées avec différentes valeurs d'épaisseur du sac, de débit et de densité d'air, ont montré que l'équation d'orifice peut être réécrite, quelle que soit l'épaisseur du sac.

L'équation peut se simplifier comme suit :

$$Q = 0,00257 D^2 \sqrt{h\rho}$$

où	Q	=	flux gazeux en litre par seconde ($\pm 4\%$)
	D	=	diamètre de l'orifice en millimètres
	h	=	chute de pression en millimètres
	ρ	=	densité du gaz à la température du gaz en gramme par litre

Pour choisir la taille adéquate de l'orifice, on recherchera une chute de pression de 25-100 mm relevée sur une jauge de vide. Une valeur inférieure à 25 mm est difficile à mesurer ; par contre, avec une valeur supérieure à 100 mm, le sac risque de se détacher du tuyau. Si l'on dispose d'une valeur approximative du débit, on peut déduire approximativement le diamètre de trou (en mm) nécessaire pour produire une chute de pression de 63 mm, à l'aide de la formule suivante :

$$D = 7,65 \sqrt{Q}$$

Certains aspects de la conception du dispositif permettent de minimiser la marge d'erreur :

- La sonde du manomètre doit s'enfoncer légèrement dans le sac, de manière à ce que les axes du tuyau d'évacuation, du sac-orifice et de l'extrémité de la sonde soient tous perpendiculaires (voir Figure C), pour obtenir une bonne indication de la pression statique.
- Le sac doit être suffisamment grand pour minimiser les effets de la vitesse d'approche et pour éviter les déchirures ou les flottements du plastique.
- Le diamètre de l'orifice doit être mesuré en cours d'opération afin d'obtenir la dimension réelle de fonctionnement ; si l'orifice s'ovalise sous la pression, le calcul de sa surface sera basé sur le produit des deux axes.
- Il convient d'éviter les sacs trop fins, ainsi que les températures et les vitesses élevées qui risquent d'entraîner une déformation des bords de l'orifice vers l'extérieur. Une déformation importante aura pour effet d'augmenter le coefficient de rejet à mesure que la forme de l'orifice se rapproche de celle d'une buse.

Enfin, lors de mesures à l'aide d'un sac-orifice réalisées par les membres de l'équipe d'audit, il est important de s'assurer que toutes les dispositions nécessaires ont été prises pour éviter les brûlures et les émissions de fumée.

ANNEXE 2 : GLOSSAIRE

Audit de déchet : comptabilisation approfondie et détaillée des déchets issus d'une industrie, d'une usine, d'un processus ou d'une opération élémentaire. Un audit de déchet nécessite l'élaboration d'un bilan-matières à chaque stade du fonctionnement. Il doit résulter en une identification des déchets, de leur origine, quantité, composition et potentiel de réduction.

Audit énergétique : comptabilisation quantitative des entrées et sorties d'énergie concernant une opération élémentaire, un processus, une usine ou une industrie.

Bilan-matières : comptabilisation précise de toutes les entrées et sorties de matières concernant un processus, basée sur la loi de conservation de la masse.

Catalyseur : substance qui augmente la vitesse d'une réaction chimique sans subir elle-même de modification permanente.

Coûts d'exploitation : désignés aussi sous le terme de coûts variables ou de fonctionnement ; se rapportent aux frais qui varient en rapport direct avec le taux de rendement, par exemple les frais de main d'oeuvre, de matières premières, de combustible, d'électricité, etc.

DBO₅ : demande biochimique en oxygène ; mesure de la quantité d'oxygène dissous consommé par les micro-organismes suite à une décomposition des composants organiques biodégradables. L'essai standard est réalisé à 20°C sur une période de 5 jours.

DCO : demande chimique en oxygène ; mesure de la quantité d'oxygène dissous consommé pendant l'oxydation chimique d'eaux usées par le dichromate de potassium.

Déchet : dans le contexte du présent manuel, un déchet s'entend dans le sens large du terme et recouvre tout rejet issu d'un processus autre que les produits finis. Le terme décrit donc les rejets en phases gazeuse, liquide et solide.

Dossiers d'achat : documentation des achats facturés.

Drainage/Évacuation : se rapporte au système de collecte des effluents sur un site.

Eaux usées : effluents aqueux issus d'un processus et passant dans le circuit d'évacuation ou dans une zone de stockage.

Emission : se rapporte généralement à des rejets fugitifs ou de déchets issus d'un processus de fabrication. Les émissions sont associées traditionnellement à des rejets atmosphériques. Dans le contexte du présent manuel, tous les rejets de ce type sont désignés sous le terme de déchet.

Emissions gazeuses : elles peuvent se classer en plusieurs catégories ; vapeurs ou gaz purs, mélanges de gaz et de solides, mélanges de gaz et de liquides, mélanges de gaz, de liquides et de solides. Ces trois dernières catégories sont considérées comme des émissions gazeuses car le gaz sert de vecteur aux phases solides ou liquides.

Entrées de processus : se définit comme la première moitié de l'équation d'un bilan-matières. Les entrées dans un processus comportent entre autre les matières premières, l'eau, l'énergie, etc.

Estimation stoechiométrique : calculs de masse ou de concentration basés sur la relation moléculaire exacte entre les éléments constitutifs, en tenant compte des poids atomiques et moléculaires.

Laveur de gaz : dispositif de contrôle de pollution destiné à traiter les effluents gazeux. Il fait intervenir de l'eau ou une solution chimique servant à laver certains gaz de leur phase gazeuse avant rejet à l'atmosphère. Le composé liquide de lavage peut servir une seule fois ou bien être recirculé (avec évacuation du trop-plein) et nécessiter un appoint soit continu soit périodique.

Matière première : matière à partir de laquelle est réalisé un processus de fabrication particulier.

Opération élémentaire : un processus comporte une série d'opérations élémentaires. Il peut s'agir de la réduction en pâte ou de l'écorçage dans une papeterie, ou bien de la distillation dans un processus de fabrication d'un produit chimique. Les opérations élémentaires peuvent être intermittentes comme dans le cas d'un lavage de cuve ou d'un nettoyage à la vapeur.

Organigramme de processus : outil essentiel pour mettre au point une présentation synoptique organisée d'un processus.

Points de rejet : ce terme se rapporte aux points de sortie des eaux usées quittant le site. Un point de rejet peut également se référer au lieu où un camion-citerne déverse son chargement.

Pollution : décrit la présence de composants nocifs, dangereux ou nuisibles dans un milieu. Le terme de milieu pollué décrit un état qui survient lorsque la capacité d'assimilation du milieu est dépassée, provoquant des changements écologiques indésirables.

Processus : dans le contexte du présent manuel, un processus s'entend comme englobant toutes les opérations intervenant dans la production. En conséquence, un processus peut démarrer par la réception de matières premières, continuer avec leur stockage et leur manutention, puis la technologie de fabrication, en se terminant par la manutention des produits finis et le traitement des déchets.

Produit : matière utile en sortie d'un processus.

Programme de réduction des déchets : il doit comporter une série d'actions programmées à mettre en oeuvre dans le but global de réduire la quantité de déchets générés.

Programme de surveillance : décrit un calendrier d'opérations régulières d'échantillonnage et d'essai des équipements, pompes, produits, déchets et opérations générales pour permettre de repérer tout écart par rapport à la norme et d'y remédier avant qu'il ne provoque des problèmes.

Récupération : il est possible de minimiser les déchets en récupérant les matières valorisables contenues dans ces déchets. On peut par exemple récupérer un solvant de nettoyage dans les huiles usagées. La récupération implique souvent une technologie de pointe, comme l'ultrafiltration ou l'osmose inverse. Par contre une simple décantation suffit à séparer les solutions d'huile et d'eau.

Recyclage : ce terme constitue un aspect important dans la minimisation des déchets. Le recyclage de déchets au sein d'un processus réduit souvent les besoins en matières premières vierges. Un solvant utilisé pour nettoyer des pièces de moteur peut par exemple être employé à deux reprises avant de perdre sa capacité de nettoyage.

Réutilisation/Réemploi : il s'agit d'un concept important dans la minimisation des déchets. Si un déchet ne peut être réduit, pourrait-il être réutilisé ? La réutilisation représente une filière secondaire dans un programme de réduction des déchets.

Rinçage à contre-courant : introduction d'eau ou d'un solvant dans la direction opposée de l'écoulement du produit.

Ségrégation/Séparation : consiste à isoler les déchets dangereux et/ou concentrés des autres déchets moins polluants. A titre d'exemple, les eaux de ruissellement superficielles seront collectées dans un réseau distinct de celui des effluents contaminés issus des zones de processus. Si ces deux déchets ne sont pas séparés, le volume d'eaux usées nécessitant un traitement sera plus important.

Services : dans le contexte du présent manuel, le terme de services désigne des installations annexes comme par exemple l'alimentation électrique.

Sorties de processus : deuxième moitié de l'équation du bilan-matières. Elles comprennent entre autre les produits, les sous-produits, les eaux usées, les déchets gazeux, liquides et solides, la chaleur, etc.

Sous-produit : produit secondaire ou accessoire d'un processus de fabrication.

Stocks : se rapporte à des matières solides comme du charbon ou du gravier, stockées à l'extérieur sur le site. La constitution de stocks doit se faire conformément à la législation afin de minimiser la pollution.

Usine : dans le contexte du présent manuel, ce terme se rapporte au site de l'usine, et englobe entre autre les processus, les bâtiments administratifs, les installations de traitement des déchets, les installations de stockage, etc...

ANNEXE 3 : REFERENCES

(a) Références utilisées pour la rédaction de ce manuel

Evaluation Rapide des Sources de Pollution de l'Air, de l'Eau et du Sol, OMS Publication Offset No. 62, Geneve, 1982.

Profiting from Waste Reduction in Your Small Business : a guide to help you identify, implement and evaluate an industrial waste reduction program,
D. Wigglesworth, Alaska Health Project, 1988.

Towards Zero Waste : 101 Waste Busting Tips, Orr & Boss, Michigan, USA, 1991.

Prepare Manual : A Manual for the Prevention of Waste and Emissions, Dutch Ministry of Economic Affairs, June 1991.

CEFIC Guidelines on Waste Minimisation, Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique, CEFIC, 1990.

Calculation and Shortcut Deskbook, édité par Chemical Engineering, USA.

Mesure de débit de l'eau dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux Venturi. Partie 1 : Déversoirs en mince paroi. ISO 1438-1 : 1980. Organisation Internationale de Normalisation (ISO), Geneve.

Industrial Waste Audit and Reduction Manual, Ontario Waste Management Corporation (OWMC), Canada, 2^e Edition Juillet 1989.

(b) Gestion environnemental dans l'industrie

Les audits d'environnement, Rapport technique No.2, PNUE CAP/IE, 1990.
(disponible en Anglais et en Français)

Les audits d'environnement - Edition spéciale de "Industrie et Environnement", Vol 11, N°4, 1988, PNUE CAP/IE.

Environmental Auditing in Cleaner Production Strategies, Actes du Séminaire, Avril 1991, Dept. of Industrial Environmental Economics, Université de Lund, Suède.

Notre avenir à tous, Commission Mondiale pour l'Environnement et le Développement, publié par Librairie Dominique Frisson-Roche, Paris.

Entreprise et environnement - une synergie nouvelle, G. Winter, McGraw-Hill, 1987.

Principes directeurs de l'industrie mondiale en matière d'environnement, 1990, Chambre de Commerce Internationale, 38 cours Albert 1er, 75008 Paris.

Environmental Impact Assessment - Basic Procedures for Developing Countries, UNEP, 1988.

(c) Production plus propre et prévention de la pollution

Waste Minimization Opportunities Assessment Manual, US EPA, 1988.

Techniques for Industrial Pollution Prevention, M.R. Overcash, Lewis Publishers, 1986.

Profit from Pollution Prevention, M.E. Campbell & W.M. Glenn, Pollution Probe Foundation, Toronto, 1982.

Prosperity without Pollution - the Prevention Strategy for Industry and Consumers, J.S. Hirschhorn & K.U. Oldenburg, Van Nostrand Reinhold, 1991.

Tanneries and the Environment - A Technical Guide to Reducing the Impact of Tannery Operations, Technical Report Series No.4, PNUE CAP/IE, 1991.

Environmental Aspects of the Metal Finishing Industry - A Technical Guide, Technical Report Series no.1, PNUE CAP/IE, 1989.

Le stockage des produits dangereux, Série de rapports techniques No.3, PNUE CAP/IE, 1990 (disponible en Anglais et en Français).

(d) Matériels de formation

Environmental Management Training (5 Vols), publication conjointe PNUE-BIT, 1986.

"The Competing Edge", film vidéo, Ontario Waste Management Corporation, Canada.

"Money down the Drain", film vidéo, Ontario Waste Management Corporation, Canada.

"Prepare for Tomorrow", film vidéo, Prepare Project, NOTA, Pays-Bas.

"Pollution Prevention - The Bottom Line", film vidéo, Coastal Video Communications Corporation, USA.

"Pollution Prevention - Reducing Wastes in the Workplace", film vidéo, Coastal Video Communications Corporation, USA.

(e) Systèmes informatiques/Bulletins d'information/Revue

"Produire Plus Propre", bulletin d'informations biannuel du Programme Produire Plus Propre, PNUE CAP/IE.

International Cleaner Production Information Clearinghouse (ICPIC), système information électronique international sur la production plus propre, PNUE CAP/IE (voir Annexe 4 de ce manuel).

NETT, réseau de transfert de technologies environnementales, Ave. Louise 207, Box 10, Bruxelles, Belgique.

ANNEXE 4 : PROGRAMME "PRODUIRE PLUS PROPRE" DU PNUE CAP/IE

Reconnaissant la nécessité de lutter contre la pollution et de minimiser les déchets, le Conseil d'Administration du PNUE, lors de sa réunion de Mai 1989, a adopté la Décision 37 incitant le PNUE à "poursuivre son rôle de catalyseur afin de promouvoir auprès des gouvernements, de l'industrie, des établissements de recherches et autres institutions, la mise en place d'un réseau permettant le transfert des technologies de protection environnementale".

Pour mettre en oeuvre cette décision, le Centre d'Activité du Programme Industrie et Environnement (CAP/IE) du PNUE a réuni un groupe de 23 experts originaires de divers pays et de divers organismes afin d'obtenir leur avis sur les mesures à prendre. Les recommandations de ces experts ont conduit à la réalisation du Programme "Produire Plus Propre". Le Programme sert de lien entre les sources existantes d'information sur les technologies peu ou non polluantes, et encourage la production propre dans le monde entier par l'intermédiaire de quatre principaux axes d'activités : le système d'information électronique international sur la production plus propre (ICPIC), des groupes de travail d'experts, la publication d'un bulletin d'informations, et des actions de formation.

(a) Groupes de Travail

Les Groupes de Travail sont composés d'experts cherchant à identifier des méthodes de production plus propre dans des industries spécifiques (tannerie, textile, solvant, finition des métaux, pâte à papier et papeterie). Leur rôle consiste en outre à identifier d'autres experts et à rédiger des documents de travail. Les groupes traitent également de sujets plus vastes, comme par exemple la mise en place de réseaux de données, l'éducation et la définition de principes directeurs pour la promotion d'une production propre.

(b) Bulletin d'information "Produire Plus Propre"

Ce bulletin d'information contient des renseignements et des faits d'actualité concernant les technologies et les produits propres, ainsi que sur les mesures mises en place par les gouvernements et les organisations pour la promotion d'une production plus propre.

Le bulletin est publié en Anglais, Français et Espagnol.

(c) Système d'information électronique international sur la production plus propre - ICPIC

Il s'agit d'un réseau informatisé d'échanges de données contenant plus de 600 études de cas et résumés de programmes, un répertoire d'experts et une vaste bibliographie. Le serveur est accessible aux utilisateurs de plus de 100 pays.

(d) Activités de formation

Le PNUE CAP/IE organise des ateliers et séminaires destinés à soutenir la mise en oeuvre de programmes nationaux de production plus propre dans différentes régions du monde.

LE SYSTEME INTERNATIONAL D'INFORMATIONS POUR UNE PRODUCTION PLUS PROPRE - ICPIC

L'ICPIC est un système d'information électronique international sur la production plus propre qui contient des informations sur les industries utilisant ces technologies. Il sert également de guide de référence à des sources de renseignements plus précises. L'ICPIC a été créé en collaboration avec l'Agence pour la Protection de l'Environnement des Etats-Unis (US/EPA), sur la base du Système d'Echange de Données sur la Prévention de la Pollution (PIES) développé par l'EPA. Les données proviennent également de contributions faites par des usagers - particuliers ou organisations - du réseau ICPIC.

Outre la base de données principale, le système ICPIC comporte une messagerie interactive où les usagers peuvent laisser des renseignements et des questions destinés à d'autres. Y sont également incorporés des bulletins d'information concernant les développements dans le domaine de la production plus propre, ainsi que des bases de données auxiliaires sur des sujets spécifiques.

La base de données principale comprend :

Messagerie

Serveur permettant la communication avec les autres membres du réseau.

Bulletins

Dernières nouvelles et annonces au sein de la communauté internationale sur les technologies propres.

Calendrier de manifestations

Liste des conférences, séminaires et ateliers de formation au niveau national et international.

Etudes de Cas

Base de données d'études de cas et de programmes techniques axés sur des industries et des déchets particuliers, les incitations financières et les études de coût.

Résumés de programmes

Descriptions de programmes nationaux et internationaux pour une production plus propre, et de programmes adoptés par des industries.

Serveur bibliographique

Bibliographie contenant des centaines de documents sur les technologies propres, y compris des détails pour se les procurer sur commande.

Répertoire d'experts

Version informatisée du Répertoire de la Production Plus Propre publié par le PNUE.

ACCES A L'ICPIC

L'ICPIC est accessible aux particuliers et aux organisations, 24 heures sur 24 sans aucun frais, à partir d'un ordinateur Apple ou PC compatible IBM, ou d'un terminal équipé d'un modem (2400 baud ou moins) et d'un logiciel de communication adapté. La connexion au réseau s'effectue soit directement par téléphone, soit par l'intermédiaire d'un réseau de commutation par paquet de données (PSD).

Différentes méthodes d'accès au système :

- Par téléphone : réglez votre logiciel sur 8 bits utiles, 1 bit d'arrêt, sans parité, et programmez le numéro de téléphone 33-1-40 58 88 78 - en omettant le code du pays et de la ville si vous appelez de France.
- Par SPRINTNET, en appelant le numéro de téléphone du point nodal du SPRINTNET local. Puis entrez le code d'accès ICPIP : 762 006 04000.
- Si vous vous connectez indirectement par l'intermédiaire d'un autre réseau de commutation, le code d'accès ICPIP est le 3110 762 006 04000. Dans ce dernier cas, les réglages de votre logiciel pourront varier selon le réseau PSD utilisé.

Contactez le Centre d'Activité du Programme du PNUE CAP/IE pour connaître les réseaux PSD locaux qui vous permettront d'accéder à l'ICPIC. Vous trouverez également la liste des réseaux PSD vous permettant de vous connecter à l'ICPIP, dans le guide de l'utilisateur ICPIP disponible auprès du DIE.

Pour plus amples renseignements, contactez le CAP/IE, Tour Mirabeau, 39-43 quai André Citroën, 75739 Paris Cedex 15, France ; Fax : (33-1) 40 58 88 74.

GUIDE D'AUDIT RAPIDE

PHASE I : PRE-EVALUATION

PREPARATION D'UN AUDIT

- Etape 1 : préparer et organiser l'équipe et les moyens
- Etape 2 : diviser le processus en opérations élémentaires
- Etape 3 : élaborer des diagrammes de fabrication

PHASE 2 : BILAN MATIERES

ENTREES DE PROCESSUS

- Etape 4 : déterminer les entrées
- Etape 5 : relever la consommation d'eau
- Etape 6 : mesurer les niveaux actuels réemploi/recyclage des déchets

SORTIES DE PROCESSUS

- Etape 7 : quantifier les produits/sous-produits
- Etape 8 : prise en compte des eaux usées
- Etape 9 : prise en compte des émissions gazeuses
- Etape 10 : prise en compte des déchets hors site

CALCULER LE BILAN-MATIERES

- Etape 11 : regrouper les données d'entrées et sorties
- Etape 12 : établir un bilan-matières préliminaire
- Etape 13 et 14 : évaluer et affiner le bilan-matières

IDENTIFIER LES OPTIONS DE REDUCTION DES DECHETS

- Etape 15 : identifier les mesures évidentes de réduction des déchets
- Etape 16 : cibler et caractériser les déchets problématiques
- Etape 17 : étudier la possibilité de tri des déchets
- Etape 18 : identifier les options à long terme de réduction des déchets

PHASE 3 : SYNTHESE

EVALUER LES OPTIONS DE REDUCTION DES DECHETS

- Etape 19 : entreprendre une évaluation environnementale et économique des options de réduction des déchets, dresser une liste des options viables

PLAN D'ACTION DE REDUCTION DES DECHETS

- Etape 20 : élaborer et mettre en oeuvre un plan d'action de réduction des déchets permettant d'améliorer l'efficacité du procédé

CENTRE D'ACTIVITE DU PROGRAMME INDUSTRIE ET ENVIRONNEMENT

Historique du PNUE CAP/IE

Le Centre d'Activité du Programme Industrie et Environnement (CAP/IE) a été créé en 1975 par le PNUE pour favoriser le rapprochement entre les industries et les gouvernements, et promouvoir un développement industriel respectueux de l'environnement. Le CAP/IE a son siège à Paris. Ses objectifs sont les suivants :

- (1) encourager la prise en compte de critères environnementaux dans les projets de développement industriel ;
- (2) faciliter la mise en application des procédures et principes directeurs garantissant la protection de l'environnement ;
- (3) promouvoir l'utilisation de technologies propres et sans danger ;
- (4) stimuler les échanges d'informations et d'expérience dans le monde entier.

Le CAP/IE met à disposition des informations d'ordre pratique. Par ailleurs, il développe la coopération sur le terrain et favorise les échanges d'informations ; ces actions font l'objet d'évaluations régulières et d'un suivi permanent. Pour promouvoir le transfert d'informations, le CAP/IE a mis au point trois outils complémentaires : des guides et principes techniques, la revue "Industrie et Environnement", et un service de renseignements techniques. Dans l'esprit de son souci de coopération technique, le CAP/IE favorise les transferts de technologie et contribue à la mise en oeuvre de pratiques destinées à préserver l'environnement, en encourageant les interactions et les échanges, en développant des activités de sensibilisation et de formation, et en réalisant des études de diagnostic.

Quelques publications récentes du PNUE-CAP/IE

Revue Industrie et Environnement (trimestriel), ISSN 0378-9993. La revue traite de sujets tels que la gestion des déchets dangereux, les accidents technologiques, les audits environnementaux, les problèmes spécifiques des industries, les informations environnementales.

Environmental Aspects of the Metal Finishing Industry : A Technical Guide (Série Rapport Technique N°1), ISBN 92 807 12160, 91 p, 1989.

Environmental Auditing (Série Rapport Technique N°2), ISBN 92 807 12535, 125 p, 1990

Le Stockage des Produits Dangereux. (Série Rapport Technique N°3) ISBN 92 807 12381, 80 p, 1990.

Directory of Information Sources on Air and Water Pollution - INFOTERRA/IEO, ISBN 92 807 12330, 387 p, 1989.

APELL - Information et Preparation au Niveau Local: Un processus pour répondre aux accidents technologiques, ISBN 92 807 1184 9, 64p, 1988.

Tanning and the Environment - A Technical Guide to Reducing the Environmental Impact of Tannery Operations, Série Rapport Technique N°4, PNUE CAP/IE, ISBN 92 807 12764, 110p, 1991.

ONUUDI ET L'ENVIRONNEMENT

En tant qu'organisation chargée du développement industriel dans le système des Nations Unies, l'ONUUDI participe activement à une coopération internationale en plein essor en ce qui concerne les questions environnementales liées à l'industrie. Au cours de l'année 1990, l'ONUUDI a regroupé ses diverses actions environnementales dans le cadre du Programme de l'ONUUDI pour l'Environnement qui coiffe désormais ces activités. L'ONUUDI est bien placée pour transférer de nouvelles technologies et des procédés de production plus propre vers les pays en développement dans des secteurs aussi importants que le tannage, les cimenteries, le textile, l'agro-alimentaire, la métallurgie, la sidérurgie et bien d'autres. Son assistance peut prendre la forme de projets techniques, de fourniture d'équipements, de prestation de services consultatifs, de programmes d'investissement, de mise en valeur des ressources humaines au moyen de stages de formation ou de bourses d'études.

Le Programme de l'ONUUDI pour l'environnement met au premier rang des priorités: (1) prise en compte de considérations environnementales dans les activités de l'ONUUDI ; (2) la sensibilisation des pays en développement à la nécessité d'inclure des considérations environnementales dans leur politique et leurs installations industrielles ; et (3) l'assistance aux pays en développement pour prévenir et réparer les effets de la dégradation de l'environnement imputables à l'industrie, grâce à des projets d'aide technique et à la mise en place d'autres activités portant sur des sujets tels que les technologies et procédés industriels propres, les audits environnementaux, les études d'impact, le rendement énergétique, les études et rapports techniques, la formation et l'information. Un soutien spécifique peut également être apporté à la conception, à l'implantation et l'exploitation d'installations permettant de réduire la pollution industrielle.

Les demandes de renseignements au sujet des programmes de l'ONUUDI peuvent être adressées aux bureaux du PNUD dans les différents pays en voie de développement, ou bien directement au siège de l'ONUUDI, B.P. 300, A-1400 Vienne, Autriche.



ONUDI

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT
INDUSTRIEL
CENTRE INTERNATIONAL DE VIENNE
P.O. BOX 300
A-1400 VIENNE, AUTRICHE
TEL : 43 (1) 211 310
FAX : 43 (1) 232 156



PNUE CAP/IE

PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR L'ENVIRONNEMENT
CENTRE D'ACTIVITÉ DU PROGRAMME
INDUSTRIE ET ENVIRONNEMENT
39-43 QUAI ANDRE CITROEN
75739 PARIS CEDEX 15 - FRANCE
TEL : 33 (1) 40 58 88 50
TLX : 20499F
FAX : 33 (1) 40 58 88 74