

MÉDITERRANÉE

Prévention de la
pollution dans le
**sous-secteur de l'usinage
des métaux**

production

PROPRE



Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP)
Plan d'action pour la Méditerranée



Centre d'Activités Régionales
pour la Production Propre



Ministère de l'Environnement
Espagne

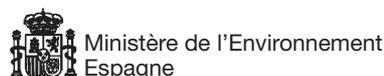


Gouvernement de la Catalogne
Ministère de l'Environnement
et du Logement

Prévention de la pollution dans le **sous-secteur de l'usinage des métaux**



Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP)
Plan d'action pour la Méditerranée



Note : Cette publication peut être reproduite intégralement ou partiellement à des fins pédagogiques et non lucratives sans autorisation spéciale du Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP), à condition que sa source soit proprement mentionnée. Le CAR/PP serait reconnaissant de recevoir un exemplaire de toutes les publications qui ont utilisé ce matériel comme source.

Cette publication ne peut être vendue ni utilisée à quelque fin commerciale que ce soit sans autorisation préalable de la part du CAR/PP.

Si vous pensez qu'un point de cette étude peut être amélioré ou qu'il n'est pas assez précis, nous vous serions très reconnaissants de bien vouloir nous en informer.

Document fini en avril 2005

Document publié en septembre 2005

Des demandes de copies supplémentaires ou d'informations peuvent être adressées à :

Centre d'activités régionales pour la production propre (CAR/PP)

C/ Paris, 184 – 3^e étage
08036 Barcelone (Espagne)
Tél. : +34 93 415 11 12 - Fax : +34 93 237 02 8
E-mail : cleanpro@cema-sa.org
Site Web : <http://www.cema-sa.org>

INDEX

1. INTRODUCTION	7
1.1. ANTECEDENTS.....	7
1.2. LES OBJECTIFS ET LA STRUCTURE.....	8
1.3. LA METHODOLOGIE.....	9
2. LA DESCRIPTION DES PROCESSUS PRODUCTIFS DU SOUS-SECTEUR DE L'USINAGE DU METAL ET LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX ASSOCIES	11
2.1. 2.1 LE SOUS-SECTEUR DE L'USINAGE DU METAL	11
2.2. LES FLUIDES DE COUPE.....	12
2.3. LE LAMINAGE A FROID	14
2.3.1. <i>La description générale du processus de laminage à froid</i>	14
2.3.2. <i>La description de l'opération de laminage à froid et les considérations environnementales</i>	15
2.4. LE TREFILAGE A FROID	18
2.4.1. <i>La description générale du processus de tréfilage à froid</i>	18
2.4.2. <i>La description de l'opération de tréfilage à froid et les considérations environnementales</i>	19
2.5. L'ETIRAGE A FROID	21
2.5.1. <i>La description générale du processus d'étirage à froid</i>	21
2.5.2. <i>La description de l'opération d'étirage à froid et les considérations environnementales</i>	22
2.6. LA DECOUPE A L'EMPORTE-PIECE ET L'EMBOUTISSAGE DE METAUX	22
2.6.1. <i>La description générale du processus de découpe à l'emporte-pièce et de l'emboutissage de métaux</i>	22
2.6.2. <i>La description des opérations de découpe à l'emporte-pièce et d'emboutissage de métaux et les considérations environnementales</i>	23
2.7. LA PRODUCTION DE PROFILS A FROID PAR FAÇONNAGE PAR PLIAGE	25
2.7.1. <i>La description générale du processus de production de profils à froid par façonnage par pliage</i>	25
2.7.2. <i>La description des opérations de production de profils à froid par façonnage par pliage et les considérations environnementales.</i>	25
2.8. L'USINAGE	27
2.8.1. <i>La description générale de l'usinage</i>	27
2.8.2. <i>La description des opérations d'usinage et les considérations environnementales</i>	28
2.9. LES TRAITEMENTS THERMIQUES	31
2.9.1. <i>Le recuit</i>	31
2.9.2. <i>La trempe</i>	33
2.9.3. <i>Le revenu</i>	34
2.10. LES OPERATIONS DE DEGRAISSAGE.....	36

3. LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'INDUSTRIE DU SOUS-SECTEUR DE L'USINAGE DU METAL	39
3.1. LA CONSOMMATION D'EAU	39
3.2. LA CONSOMMATION D'ENERGIE	41
3.3. LES EFFLUENTS LIQUIDES RESIDUAIRES	42
3.4. LES RESIDUS SOLIDES	47
3.4.1. <i>La matière première rejetée</i>	47
3.4.2. <i>Les boues</i>	48
3.4.3. <i>Les autres résidus</i>	49
3.5. LES EMISSIONS DANS L'ATMOSPHERE.....	51
3.6. LE BRUIT	53
4. LES OPPORTUNITES DE PREVENTION ET DE REDUCTION DE LA POLLUTION	55
4.1. LA MODIFICATION DES PRODUITS	58
4.2. LES BONNES PRATIQUES ENVIRONNEMENTALES	58
4.3. LE REMPLACEMENT DE MATIERES PREMIERES	64
4.4. LE CHANGEMENT TECHNOLOGIQUE	69
4.5. LE RECYCLAGE A LA SOURCE.....	75
4.6. LE TRAITEMENT FINAL.....	85
5. CAS PRATIQUES	89
5.1. CAS PRATIQUE 1 : COMPONENTES MECANICOS, S. A.....	89
5.2. CAS PRATIQUE 2: TECNOFORM, S. A.....	94
5.3. CASO PRÁCTICO 3: GRUPO ELCORO DECOLETAJE, S.L. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
6. CONCLUSIONS	101
7. BIBLIOGRAPHIE	103
7.1. ÉTUDES.....	103
7.2. PUBLICATIONS	104
7.3. REVUES TECHNIQUES	105
7.4. LIVRES.....	105
7.5. SITES WEB CONSULTÉS.....	105
7.6. ENTREPRISES DU SECTEUR.....	106
8. REMERCIEMENTS	107
9. ANNEXE. LA REPRÉSENTATIVITÉ DU SECTEUR MÉTALLURGIQUE DANS LES PAYS DU PAM	109

1. INTRODUCTION

1.1. Antécédents

Le sous-secteur de l'usinage du métal appartient à un secteur industriel plus vaste, celui de la métallurgie dans lequel on distingue deux grandes activités, la production et première transformation de métaux et la fabrication de produits métalliques.

Le secteur de la production et première transformation de métaux inclut deux grandes sections : la métallurgie ferreuse (production et première transformation du fer et de l'acier) et la métallurgie non ferreuse (transformation de l'aluminium, du cuivre, du zinc, du plomb, etc.).

La seconde grande activité, la fabrication de produits métalliques, élabore des produits qui constituent la matière première d'autres secteurs industriels (produits métalliques intermédiaires), ou donne lieu à des produits préparés pour la consommation (produits métalliques finaux). Les entreprises incluses dans cette activité industrielle réalisent surtout des processus de déformation métallique, d'usinage et de finissage.

Ce manuel se centre sur les activités de fabrication de produits métalliques et exclut les processus de finissage ayant trait au traitement de surfaces.

Il faut tenir compte de l'impact environnemental lié à l'activité industrielle d'usinage du métal. Le plus remarquable correspond à l'utilisation de fluide de coupe dans les processus de façonnage, ce qui crée des fluides de coupe usés, des eaux huileuses, des résidus métalliques imprégnés de ce fluide, etc.

L'augmentation de la prise de conscience sociale en matière d'environnement de ces dernières années s'est traduite, d'une part, par une plus forte pression législative et, d'autre part, par une poussée d'initiatives ayant pour objectif de promouvoir des actions en vue de la minimisation des impacts environnementaux et, en général, pour la préservation de l'environnement.

C'est dans ce contexte que naît en 1975 le Plan d'action pour la protection et le développement du bassin méditerranéen (PAM), afin de protéger et d'améliorer l'environnement et de promouvoir le développement durable dans la région méditerranéenne. Les pays faisant actuellement partie du PAM sont au nombre de 21 : l'Albanie, l'Algérie, la Bosnie-Herzégovine, Chypre, la Croatie, l'Égypte, l'Espagne, la France, la Grèce, Israël, l'Italie, le Liban, la Libye, Malte, le Maroc, Monaco, la Serbie et le Monténégro, la Slovénie, la Syrie, la Tunisie et la Turquie.

El Plan dispose de six Centres d'activité régionale (CAR). Chacun s'occupe d'un domaine thématique déterminé. En 1996, le Centre per a l'Empresa i el Medi Ambient (Centre pour l'Entreprise et l'Environnement) (CEMA) a été sélectionné comme Centre d'activité régionale pour la production propre (CAR/PP) et, depuis lors, il fait connaître les meilleures pratiques environnementales et les technologies adéquates afin de faire diminuer la pollution produite par les industries du bassin méditerranéen.

Les faits précédents ont poussé le CEMA - CAR/PP à élaborer un manuel de prévention intégré de la pollution dans le sous-secteur de l'usinage du métal, manuel qui reprend les mesures disponibles dans ce secteur afin de promouvoir auprès des entreprises l'application de pratiques, de techniques et de technologies orientées vers la prévention à la source des impacts environnementaux dérivés de leur activité.

1.2. Les objectifs et la structure

Le principal objectif de ce manuel est de présenter aux entreprises industrielles du sous-secteur de l'usinage du métal les opportunités de prévention intégrée de la pollution disponibles dans ce sous-secteur, afin de prévoir et de minimiser l'impact environnemental associé à leur activité et, en même temps, de les encourager à rechercher de nouvelles opportunités de prévention de la pollution dans leurs installations.

Le manuel est divisé en six chapitres dont nous décrivons brièvement le contenu ci-dessous.

Chapitre 1. Introduction

Ce chapitre présente les antécédents qui justifient la rédaction de ce manuel, les objectifs et la méthodologie suivie pour sa réalisation ainsi que sa structure.

Chapitre 2. Les processus productifs

Ce chapitre décrit les matières premières et les ressources utilisées (quelles soient principales ou auxiliaires), les produits finis et les aspects environnementaux associés.

Chapitre 3. Les aspects environnementaux

Le chapitre 3 contient une description plus détaillée des aspects environnementaux associés à chaque processus, il inclut l'analyse des courants résiduels créés ainsi que les principaux impacts environnementaux dérivés des processus décrits dans le chapitre précédent.

Chapitre 4. Les opportunités de prévention et de réduction de la pollution

Ce chapitre contient une description des différentes opportunités de prévention intégrée de la pollution (OPP) et inclut des informations à caractère technique et économique afin de rendre plus facile aux responsables des industries l'évaluation de la possible application de ces techniques dans leurs installations.

Chapitre 5. Les cas pratiques

On trouve dans ce chapitre des exemples réels d'industries qui ont amélioré leurs processus productifs en appliquant des alternatives de prévention de la pollution et qui ont, de cette manière, minimisé les impacts environnementaux de leur activité productive.

Chapitre 6. Les conclusions

Ce dernier chapitre présente les conclusions générales extraites au cours du processus d'élaboration du présent manuel.

1.3. La méthodologie

La méthodologie suivie pour la réalisation de ce manuel inclut quatre phases.

Phase I. Le plan initial

La première phase consiste à élaborer un premier plan de la structure du manuel afin d'orienter la compilation de l'information nécessaire à son élaboration.

Phase II. La compilation et l'analyse de l'information

Au cours de cette phase, on réalise l'analyse d'information provenant de plusieurs sources :

- La documentation faisant référence aux processus productifs du secteur métallurgique et, concrètement, du sous-secteur de l'usinage du métal et des aspects environnementaux associés.
- La documentation liée aux alternatives de prévention de la pollution dans le sous-secteur de l'usinage du métal.
- Les cas réels d'entreprises du sous-secteur de l'usinage du métal ayant développé des expériences en matière d'implantation d'alternatives de prévention de la pollution.

Phase III. La définition de la structure du manuel

Après avoir réalisé la recherche et l'analyse de l'information, nous avons procédé à la définition de la structure définitive du manuel et de ses principaux contenus, en révisant et en confirmant le plan initial.

Phase IV. La rédaction du manuel

Cette phase consiste à rédiger les chapitres qui composent ce manuel, en suivant ses objectifs, l'information préalablement analysée et le plan réalisé.

2. LA DESCRIPTION DES PROCESSUS PRODUCTIFS DU SOUS-SECTEUR DE L'USINAGE DU METAL ET LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX ASSOCIES

Dans cette partie, nous décrivons les principaux processus productifs du sous-secteur, les matières premières utilisées et les produits obtenus. À la fin de chaque point, nous mentionnons les aspects environnementaux associés à chaque processus qui sont traités en profondeur dans le chapitre suivant.

2.1. Le sous-secteur de l'usinage du métal

Le secteur du métal comprend un ensemble d'activités qui, en général, peuvent se regrouper en quatre grands blocs en fonction de la phase du processus métallurgique au cours de laquelle ils ont lieu. Voici ces quatre blocs :

- **L'industrie métallurgique de base.** Ce bloc comprend les activités de sidérurgie et d'aciérie. Ces activités consistent principalement dans l'extraction de matériaux et dans une première transformation en une forme de métal pur ou en un alliage qui est utilisé comme matière première dans des phases postérieures.
- **La première transformation métallurgique.** On englobe surtout dans ce groupe les processus de fonte, de forge et de frittage dont l'objectif est la fabrication, à l'aide de moules, de pièces métalliques ayant une géométrie et une composition déterminées.
- **La fabrication de produits intermédiaires.** Les deux techniques principales utilisées au cours de cette phase sont la déformation et l'usinage dont le but est de modifier les produits obtenus lors de la première transformation métallurgique afin d'obtenir des produits finis. Il faut signaler que tous les produits obtenus au cours de la première transformation métallurgique ne sont pas soumis aux techniques propres à cette phase car certains peuvent être destinés directement à la consommation finale ou à d'autres industries.
- **Le finissage de pièces.** Cette phase englobe les traitements thermiques (trempe, recuit, etc.) et superficiels (dégraissage, décapage, galvanisation, etc.) auxquels sont soumises les pièces déjà transformées afin de leur donner des caractéristiques de résistance, de dureté et d'aspect spécifiques.

Les processus décrits dans ce manuel sont utilisés dans la phase de fabrication de produits intermédiaires. De ce fait, dans le titre du manuel, nous employons le terme de « sous-secteur de l'usinage du métal » au sens large du mot, c'est-à-dire en incluant aussi bien les techniques de déformation que celles d'usinage. C'est ainsi que nous avons considéré intéressant de décrire aussi les traitements thermiques (revenu, trempe et recuit) qui accompagnent généralement les processus dont parle ce manuel.

La déformation consiste à modifier, par ductilité, la forme d'un corps solide afin d'obtenir une pièce finie, sans qu'il y ait enlèvement de copeaux. Il existe différentes techniques pour façonner les métaux par déformation. Les plus courantes sont les suivantes :

- Le laminage à froid
- Le tréfilage à froid
- L'étirage à froid
- L'emboutissage et la découpe à l'emporte-pièce
- Le façonnage de profils par pliage

D'autre part, l'usinage consiste à modifier la forme et la taille d'une pièce métallique en enlevant les couches excédentaires et en utilisant pour cela des machines-outils dans le but d'obtenir une pièce finie. Cette technique est utilisée lorsque l'on veut obtenir des surfaces de pièces très précises et lisses. Les différents processus d'usinage sont traités de manière globale dans le point 2.8. du manuel afin d'éviter des répétitions dans la description des matières premières utilisées et les aspects environnementaux associés.

2.2. Les fluides de coupe

L'utilisation d'huiles et de lubrifiants, communément appelés fluides de coupe, est très étendue dans les techniques de déformation métallique telles que le laminage à froid et le tréfilage à froid ainsi que dans les opérations d'usinage en général. Concrètement, l'utilisation de ces fluides apporte au système :

- La lubrification
Le fluide diminue la friction qui se produit entre la surface d'incidence de l'outil et la surface de la pièce, il réduit ainsi la force nécessaire pour façonner la pièce et améliorer le finissage superficiel.
- La réfrigération
Le frottement entre la pièce et la machine-outil crée une augmentation de température qui est freinée par l'utilisation du fluide qui agit comme réfrigérant et qui, en même temps, évite la détérioration prématurée de l'outil.
- Le retrait du matériel excédent
Au cours des opérations où il y a enlèvement de copeaux, le fluide entraîne les particules enlevées à la pièce, évitant ainsi qu'elles ne s'accumulent dans la zone de coupe car leur présence rendrait difficile l'exécution de l'opération et la dissipation naturelle de la chaleur.

Les fluides de coupe sont composés d'huile (minérale, végétale ou synthétique) et de composés chimiques (additifs) utilisés pour améliorer leurs propriétés. Les principaux additifs, ainsi que leurs fonctions, sont énumérés sur le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Principaux additifs présents dans les fluides de coupe

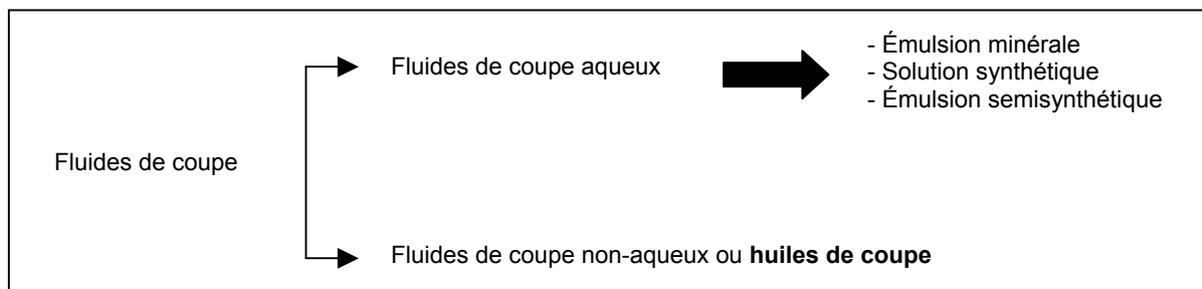
ADDITIFS	FONCTION	COMPOSÉS CHIMIQUES
Agents émulsionnants	Ils offrent de la stabilité à l'émulsion	Cationiques Anioniques (sulfonates) Non ioniques (triéthanolamine, polyglycoether, allylphenol oxyéthyl)
Inhibiteurs de corrosion	Ils protègent contre la corrosion la pièce et l'outil	Nitrites Amines Borates
Biocides	Ils empêchent le développement de micro-organismes dans le fluide	Aldéhydes formiques Phénols Triazines Isothiazolinones
Additifs extrême pression	Ils forment une couche intermédiaire entre deux surfaces métalliques, ils améliorent la lubrification et évitent l'usure	Paraffines chlorées Composés soufrés Composés phosphorés Huiles minérales et graisses Alcools
Humectants ou stabilisants	Ils stabilisent le concentré	Alcools Phosphates Polyglycols
Anti-mousses	Ils évitent la formation de mousses	Silicones Esters gras Hydrocarbures à poids moléculaire élevé
Complexants	Ils éliminent et préviennent la formation d'incrustations	Composés organiques divers (EDTA)
Divers (détergents, dispersants, etc.)		Composés divers

Source : Données extraites du *Libro Blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del Metal*, IHOBE, S. A. et du site web de la *Fundación sindical autónoma de la Confederación Sindical de Comisiones Obreras (CCOO)* (Fondation syndicale autonome de la Confédération syndicale de Commissions ouvrières).

Outre les huiles et les additifs, les fluides de coupe peuvent aussi être émulsionnés avec de l'eau. En fonction de leur contenu en eau, les fluides de coupe sont classés en fluide de coupe aqueux et en fluides non-aqueux ou *huiles de coupe*. À leur tour, les fluides de coupe aqueux se divisent en émulsions minérales, solutions synthétiques et émulsions semisynthétiques comme on peut l'observer sur la figure 1.

Schéma 1

LA CLASSIFICATION DES FLUIDES DE COUPE



Dans le tableau 2, nous reprenons la proportion approximative d'eau, d'huile et d'additifs de chaque fluide de coupe :

Tableau 2. La composition de base des fluides de coupe

	% DANS LE CONCENTRÉ (VOLUME)		
	EAU	HUILE	ADDITIFS
Huile de coupe	-	96	4
Émulsion minérale	< 10	60 - 80	< 30
Émulsion semisynthétique	20 - 50	10 - 40	20 - 60
Solution synthétique	40 - 60	< 5	40 - 60

Source : Données extraites du *Libro Blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE, S. A.

Le choix du type de fluide de coupe qui sera le mieux adapté dépend des exigences et des besoins de chaque processus. La principale propriété apportée par les émulsions d'huile est la lubrification, de sorte que leur utilisation s'étend surtout aux opérations de laminage à froid et d'emboutissage.

D'autre part, les émulsions semisynthétiques sont utilisées pour les opérations dans lesquelles la lubrification est aussi importante que la réfrigération comme, par exemple, les opérations de fraisage et de tournage.

Enfin, les solutions synthétiques s'appliquent dans des processus tels que la rectification, dans lequel la fonction réfrigérante du fluide de coupe aqueux est prioritaire.

2.3. Le laminage à froid

2.3.1. La description générale du processus de laminage à froid

Le processus de laminage à froid consiste à glisser une plaque de métal non réchauffée entre une paire de rouleaux afin de réduire son épaisseur et de produire une surface lisse et dense.

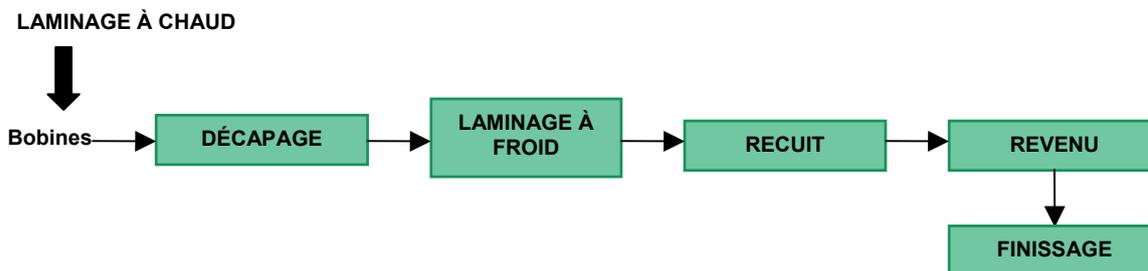
Les matières premières employées pour le processus sont en général des bobines de produits plats (bandes) laminées à chaud et les produits typiques ainsi obtenus sont des bandes, des tôles fines, du fer noir et des aciers plats au carbone ou inoxydables.

Les bobines que l'on va traiter peuvent être en acier faiblement allié et en acier allié (acier au carbone) ou en acier fortement allié (acier inoxydable). En fonction de la qualité de l'acier traité la séquence du processus varie, nous la décrivons ci-dessous.

Dans le cas du processus pour **acier faiblement allié et l'acier allié (aciers au carbone)**, avant le laminage à froid, il est nécessaire de réaliser un décapage du matériel de base avec de l'acide chlorhydrique, sulfurique ou un mélange d'acide nitrique et fluorhydrique afin d'éliminer la couche d'oxyde formée au cours du laminage à chaud. Une fois le décapage du matériel initial réalisé, on le lamine puis on effectue un processus de recuit afin de rétablir la ductilité de la bande d'acier perdue pendant le processus de laminage. Par la suite, on procède au laminage de revenu ou laminage à effet superficiel (« skin pass ») afin de donner au métal recuit le finissage superficiel requis. Finalement on soude ou l'on coupe des bobines de longueurs différentes selon le produit demandé et on procède à son emballage.

Schéma 2

LE PROCESSUS DE LAMINAGE A FROID POUR ACIERS AU CARBONE

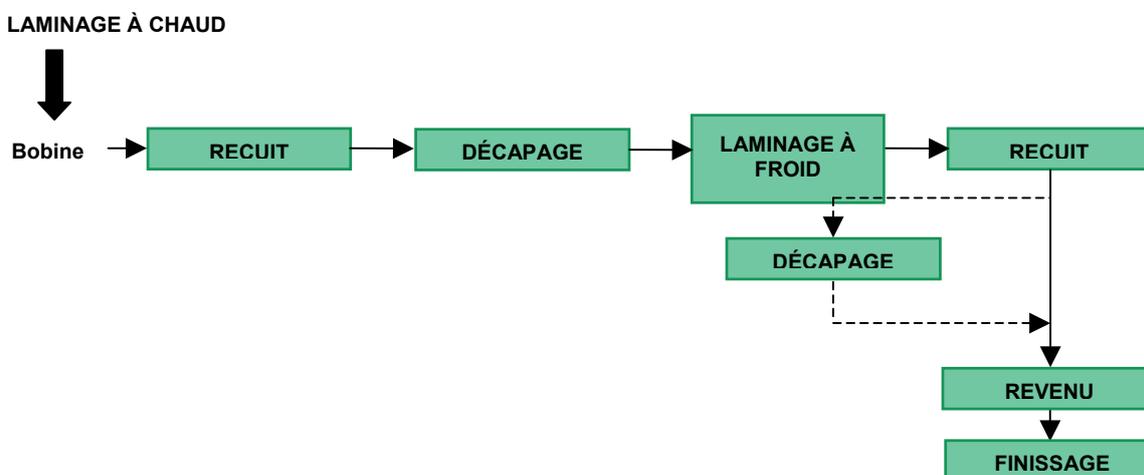


Le processus de laminage d'acier **fortement allié (acier inoxydable)** présente une séquence similaire, sauf en ce qui concerne l'inclusion de certaines démarches supplémentaires :

- Le recuit initial, antérieur au décapage, à cause de la plus grande dureté de l'acier inoxydable par rapport à l'acier au carbone.
- Le décapage additionnel dans le cas où le recuit final du matériel le demande. Cette démarche additionnelle est nécessaire lorsque l'opération de recuit se fait dans une atmosphère riche en oxygène, connue comme recuit brillant, qui provoque la formation d'une couche superficielle d'oxyde qu'il faut éliminer.

Schéma 3

LE PROCESSUS DE LAMINAGE A FROID POUR ACIER INOXYDABLE



2.3.2. La description de l'opération de laminage à froid et les considérations environnementales

Le processus de laminage à froid peut se faire de deux façons.

La première manière consiste en un laminage au moyen de trains réversibles, on fait circuler le produit plusieurs fois dans le train de laminage jusqu'à ce que l'on obtienne l'épaisseur souhaitée. Il s'agit d'un procédé en discontinu.

L'autre manière se fait dans des laminoirs continus en ligne, de sorte que la bande est réduite à l'épaisseur désirée en un seul passage à travers la ligne de laminoirs.

Dans le cas de matériaux composés d'**aciers au carbone**, si le contenu en carbone de l'acier est faible (aciers moins durs), les laminoirs utilisés sont en continu.

Concrètement, on utilise des trains à plusieurs boîtes de type tandem car leur capacité de production est supérieure. Ces trains sont formés d'un ensemble de boîtes de quatre ou six rouleaux superposés. Dans les trains, le matériel se déplace continuellement de boîte en boîte, sa section est progressivement réduite jusqu'à obtenir l'épaisseur souhaitée dans la dernière boîte.

Le reste des aciers au carbone se façonnent dans des laminoirs en discontinu qui ne possèdent qu'une seule boîte avec plusieurs rouleaux qui laminent le matériel par plusieurs passages dans la même machine. Dans ce cas, il faut chaque fois réintroduire la bande dans le laminoir.

Le principal aspect environnemental associé au processus de laminage de matériaux qui contiennent des aciers au carbone est l'utilisation d'une émulsion de 0,5 à 4 % d'huile dans l'eau pour lubrifier, refroidir le matériel ainsi que la machine et éliminer les particules de fer. Cette émulsion est composée d'huile de laminage et d'eau déminéralisée.

Dans le laminage en discontinu, cette émulsion s'applique à l'aide de buses de pulvérisation sur les rouleaux et la bande. Par contre, le laminage en continu permet d'installer plusieurs systèmes d'émulsion indépendants. Il est donc possible d'appliquer une émulsion spéciale dans la dernière boîte afin d'augmenter l'effet de nettoyage. Cette émulsion spéciale peut contenir un détergent ou une proportion peu élevée d'huile, d'1 % environ.

Il faut prendre des précautions afin d'éviter la pollution des émulsions par les huiles des machines, de la graisse ou de l'eau de refroidissement, afin de maintenir à tout moment la surface des bandes la plus propre possible. Ces précautions peuvent consister, entre autres, dans le contrôle régulier de l'équipement hydraulique et des coussinets de la machine ou dans le monitoring de paramètres de l'émulsion comme le pH, l'indice de saponification, la concentration d'acide, etc.

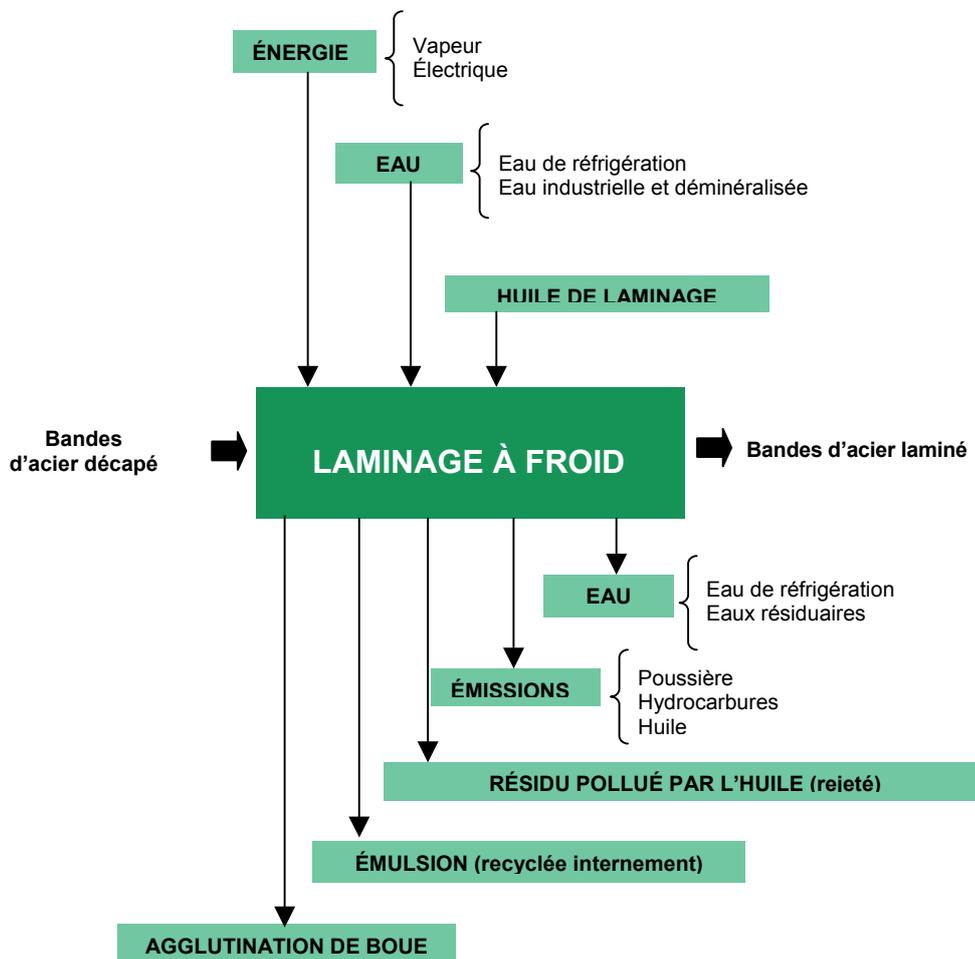
L'utilisation de ces émulsions crée des eaux résiduaires qui peuvent contenir de l'huile et des solides en suspension, ce qui fait qu'elles doivent être traitées dans des centrales de séparation d'émulsions. Dans ces centrales, on obtient des boues avec de l'huile.

Le processus de laminage à froid demande de l'énergie. Cette dernière est généralement électrique, bien que les trains de laminage tandem avec système d'émulsion peuvent aussi utiliser de l'énergie sous forme de vapeur pour chauffer l'émulsion.

Finalement, il faut aussi mentionner les émissions de poussière, d'hydrocarbures et de particules d'huile.

Schéma 4

LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU LAMINAGE D'ACIERS AU CARBONE



Source : Schéma réalisé à partir du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

Le processus de laminage pour **aciers fortement alliés (acier inoxydable)** est pratiquement le même que celui qui est décrit précédemment, à l'exception de certaines différences.

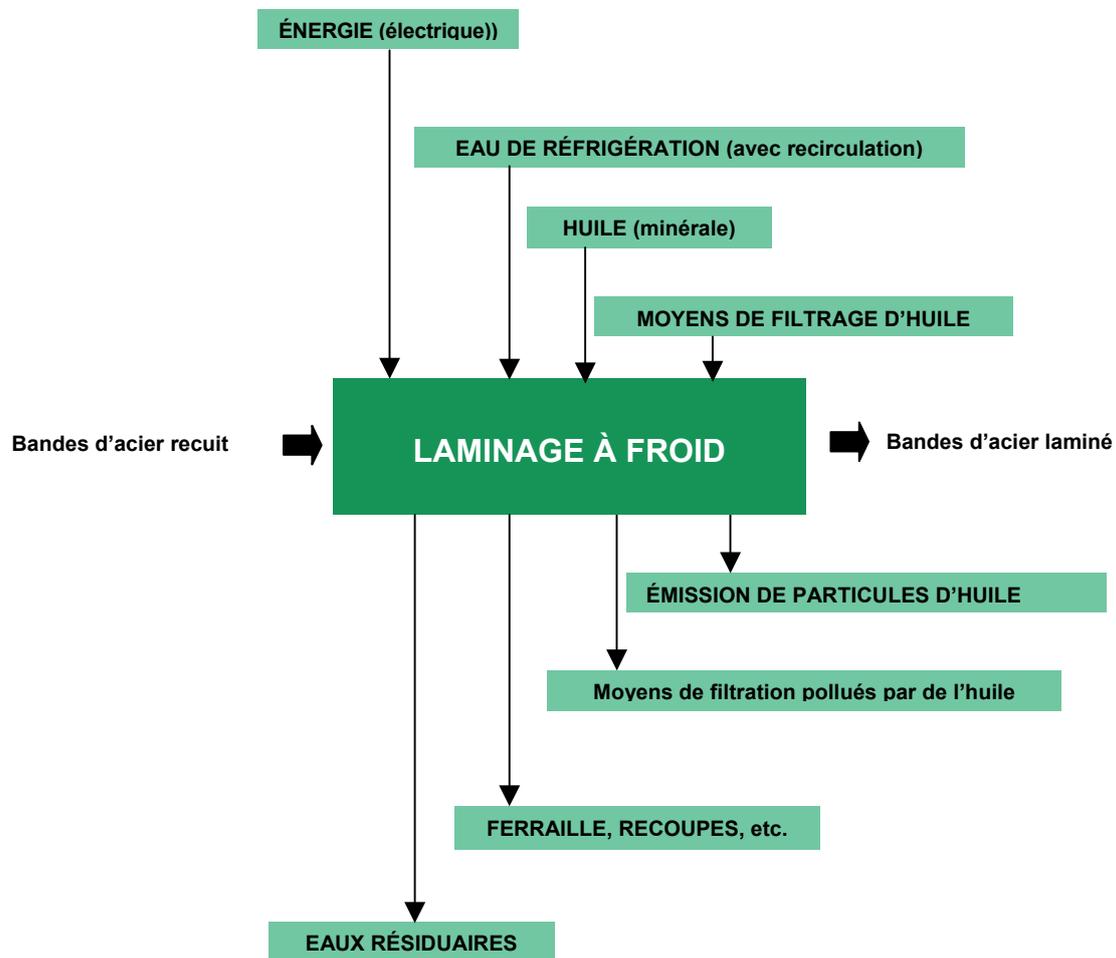
La plus remarquable réside dans le fluide de coupe utilisé qui, d'habitude, est de l'huile minérale de laminage. Pour que le fonctionnement du processus soit bon, il faut en contrôler strictement la propreté, grâce à des circuits de filtrage d'huile ou des systèmes semblables.

De même que ce qui a été décrit pour l'acier au carbone, dans le laminage d'acier inoxydable on consomme un fluide de coupe, ce qui fait que les aspects environnementaux dérivés de son emploi sont semblables. Il faut mentionner que les circuits de filtrage d'huile précédemment cités créent en outre un autre type de résidu, les moyens de filtrage pollués par huile.

De toute façon, on peut aussi utiliser des systèmes de refroidissement avec des émulsions semblables à celles utilisées pour les aciers au carbone. Dans ce cas, il faut prendre des précautions, comme celles exposées pour les aciers au carbone afin d'obtenir une propreté correcte de l'huile.

Il y a également des émissions de particules d'huile, c'est pourquoi les laminoirs sont équipés de hottes d'extraction continue afin d'éliminer cette brume d'huile.

Schéma 5
LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU LAMINAGE D'ACIER INOXYDABLE



Source : Schéma réalisé à partir du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

2.4. Le tréfilage à froid

2.4.1. La description générale du processus de tréfilage à froid

Le tréfilage à froid consiste à étirer le matériel de départ à travers des ouvertures coniques de section moindre, ce que l'on appelle des filières, afin d'en réduire la section. D'habitude, le matériel initial est du fil-machine, d'un diamètre qui oscille entre 5,5 et 16 mm, qui provient des centres de laminage à chaud sous forme de bobines. Le produit obtenu par le processus de tréfilage est le fil de fer.

Il existe différentes qualités d'acier pour ce fil de fer :

- en acier pauvre en carbone avec un contenu inférieur ou égal à 0,25 %
- en acier riche en carbone avec un contenu supérieur à 0,25 %
- en acier inoxydable
- d'autres aciers alliés

Selon le type d'acier, le fil de fer obtenu est utilisé pour façonner différents produits : des fils de fer pour ressorts, des cordes de piano, des grillages, des filets, etc.

Les démarches suivies dans le processus de tréfilage du fil de fer sont semblables à celles du processus de laminage à froid :

- Le prétraitement du fil-machine (décortication mécanique, décapage).
- L'étirage (tréfilage).
- Le traitement thermique (recuit continu / discontinu, trempe patenting, trempe dans l'huile).
- Le finissage (revêtement superficiel).

2.4.2. La description de l'opération de tréfilage à froid et les considérations environnementales

Le processus de tréfilage peut se faire de deux façons : de manière humide ou sèche.

Le **tréfilage sec** s'utilise pour obtenir un fil de fer d'un diamètre d'entre 1 et 2 mm ou même inférieur. Le matériel de départ est le fil-machine de plus de 5,5 mm de diamètre. Ce dernier se déplace à travers une série de filières au diamètre décroissant, ce qui permet une réduction progressive de son épaisseur initiale.

Au cours de ce processus, le fil-machine est imprégné, avant le tréfilage, dans un lubrifiant sec. Ce lubrifiant est généralement à base de savon, bien qu'on utilise parfois des pâtes ou des huiles qui ont la même fonction.

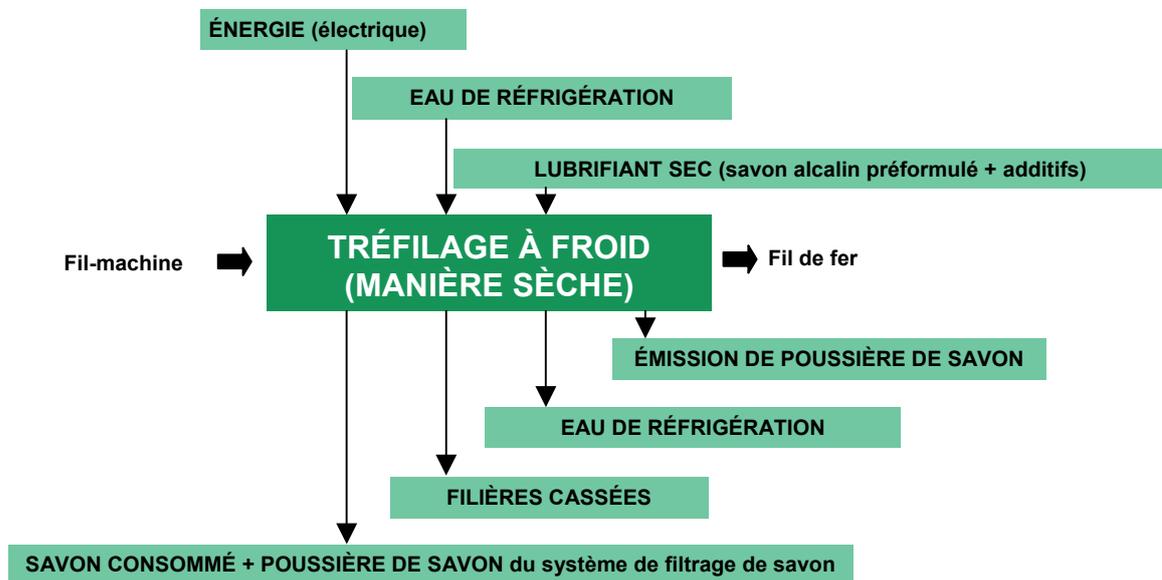
Le processus produit un réchauffement du fil de fer et de la filière à cause de la friction, ce qui fait qu'il faut utiliser de l'eau de réfrigération pour les refroidir.

Les principaux aspects environnementaux du processus de tréfilage à sec sont associés au lubrifiant utilisé, à l'émission de poussière de savon, à l'eau de réfrigération consommée et aux résidus de filières cassées. On peut récupérer et filtrer la poussière de savon qu'il y a dans l'air extrait.

Le schéma suivant reprend ces aspects environnementaux.

Schéma 6

LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU TRÉFILAGE A SEC



Source : Schéma réalisé à partir du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Ferreos*.

Dans le **tréfilage humide**, le matériel de base présente un diamètre de 1 à 2 mm, on obtient ainsi un produit fini de section inférieure.

Dans ce processus, on fait aussi passer le fil de fer par une série de filières, mais dans ce cas, le fil de fer, les filières et les cabestans sont directement submergés dans le liquide lubrifiant afin d'apporter une meilleure lubrification et un plus grand refroidissement.

Pour le tréfilage humide, on utilise d'habitude des émulsions aqueuses de savon ou d'huile, qui sont polluées au cours du processus lorsqu'ils emportent les produits présents lors des démarches précédentes, ce qui fait qu'il est nécessaire de changer le lubrifiant assez souvent.

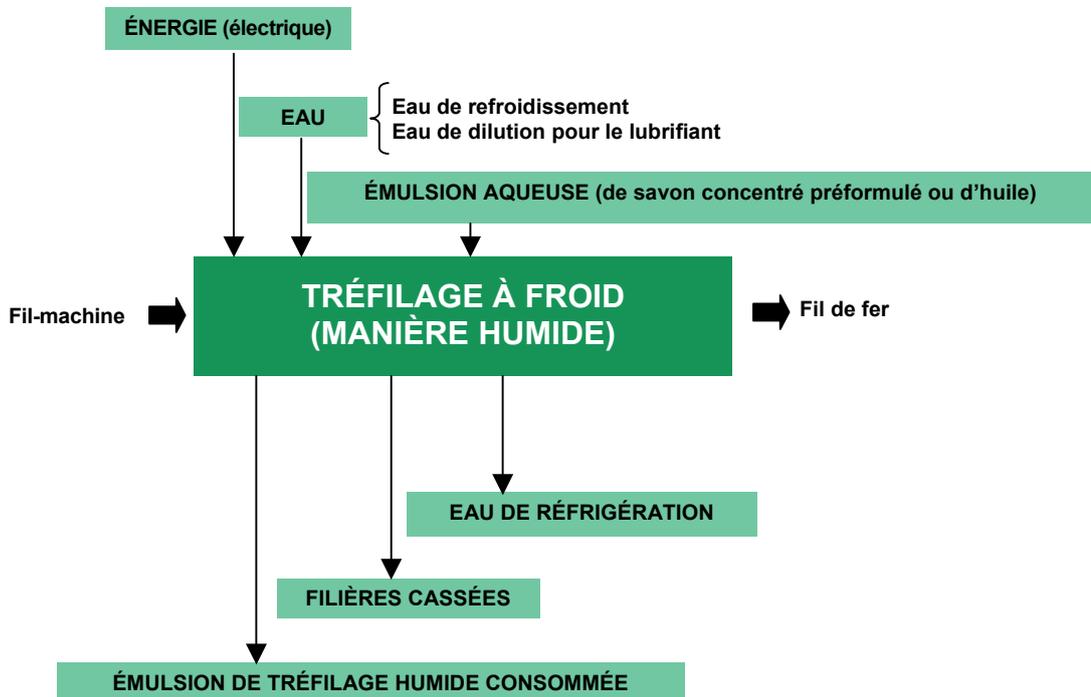
Étant donné que le lubrifiant absorbe la chaleur produite au cours de l'opération, il faut le refroidir avec de l'eau.

Outre le lubrifiant consommé et l'eau de refroidissement, on trouve d'autres sources de résidus tels que les filières cassées.

Les principaux aspects environnementaux apparaissent dans le schéma suivant.

Schéma 7

LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU TRÉFILAGE HUMIDE



Source : Schéma réalisé à partir du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

2.5. L'étirage à froid

2.5.1. La description générale du processus d'étirage à froid

Le processus d'étirage à froid est très semblable au processus de tréfilage car il consiste dans l'étirage du matériel de base jusqu'à ce que l'on obtienne le produit souhaité. La différence réside dans le fait que le processus ne se limite pas à réduire la section du matériel initial, mais qu'il faut aussi en modifier le profil. En outre, dans l'étirage, on part de matériaux à sections et dimensions variées pour obtenir des formes et des dimensions déterminées. Par contre, le tréfilage s'applique uniquement au fil-machine pour obtenir du fil de fer, c'est-à-dire en travaillant pendant tout le processus avec des sections circulaires.

Le matériel de base sont des barres en acier qui ont été, au préalable, laminées à chaud. Le produit qui est obtenu lors du processus d'étirage sont des « barres en acier poli », possédant le profil et les caractéristiques demandés par les utilisateurs et dont la section transversale est normalement carrée, rectangulaire ou hexagonale, bien qu'il soit possible de produire des sections différentes selon la demande.

Ces profils peuvent avoir plusieurs utilités. Par exemple, les profils hexagonaux s'utilisent pour fabriquer des vis et des écrous. Les profils de formes variées servent, normalement, à fabriquer des pièces à l'unité en coupant transversalement la barre.

Les produits déjà façonnés sont utilisés par les industries de l'automobile, les machines, dans la construction, pour les appareils électriques et les autres secteurs pour lesquels le matériel doit être de grande qualité.

Les phases du processus d'étirage sont semblables à celles du processus de tréfilage. En premier lieu, on réalise un décapage du matériel pour éliminer la saleté et les oxydes superficiels. Puis a lieu l'étirage. Ce processus durcit et augmente la résistance à la traction de l'acier en même temps qu'il réduit sa ductilité. C'est pourquoi, selon le produit demandé, il faut entreprendre une étape de recuit après l'étirage à froid. On arrive finalement au processus de finissage durant lequel on redresse et on polit la barre et on coupe l'extrémité affilée.

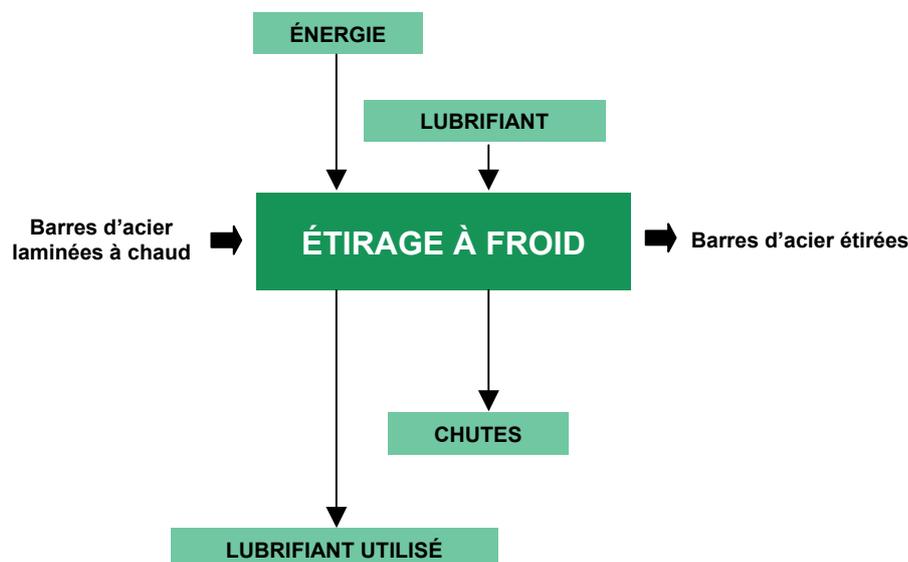
2.5.2. La description de l'opération d'étirage à froid et les considérations environnementales

Lors du processus d'étirage à froid, il faut affiler au préalable la pointe de la barre, une opération qui se réalise par des coups de marteau rotatifs ou par tournage. Puis on passe l'extrémité affilée à travers la matrice ou la filière et on l'attache au char mobile du banc d'étirage à l'aide des mors dont ce dernier dispose. On procède finalement à l'exécution du processus d'étirage.

Les aspects environnementaux dont il faut tenir compte dans ce processus sont très semblables à ceux mentionnés pour le tréfilage à froid. On utilise aussi du lubrifiant afin de faciliter le processus, raison pour laquelle l'un des principaux courants résiduels créés est le lubrifiant utilisé. Il faut aussi mentionner les résidus produits par la coupe de l'extrémité affilée de la barre.

Ces aspects sont repris dans le schéma ci-dessous.

Schéma 8
LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ETIRAGE A FROID



Source : Schéma réalisé à partir du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Férreos*.

2.6. La découpe à l'emporte-pièce et l'emboutissage de métaux

2.6.1. La description générale du processus de découpe à l'emporte-pièce et de l'emboutissage de métaux

On a considéré intéressant d'expliquer en même temps la découpe à l'emporte-pièce et l'emboutissage de métaux étant donné la similitude de la séquence suivie dans le processus et de l'outillage utilisé, bien que la finalité des deux techniques soit différente.

L'**emboutissage** est la déformation du matériel de base, à l'aide de presses équipées de moules ou d'étampes (poinçon et matrice), afin d'obtenir un corps vide sans altérer son épaisseur initiale.

Le matériel de base est une plaque plane en forme de disque, de galet, de plat, etc. en fer, en aluminium ou en laiton. Le produit final obtenu est la même plaque mais, au lieu d'être plate, elle a pris une forme creuse ou concave. Au contraire de la découpe à l'emporte-pièce, ce procédé ne permet pas de percer ou de découper la pièce initiale.

Si le matériel de base sont des plaques de fer, il faut un recuit préalable et un chauffage postérieur à la découpe à l'emporte-pièce afin d'éliminer les possibles tensions internes.

L'opération de **découpe à l'emporte-pièce** consiste en un perçage ou un découpage de la bande de tôle à l'aide d'un outil formé par un poinçon et une matrice. Ces derniers sont fixés à une presse à culbuteur ou excentrique qui coupe par pression.

Si le fragment découpé de la tôle est la pièce qui est utilisée, on parle de *recoupe* et, dans ce cas, l'opération réalisée s'appelle *coupe*. Si le fragment qui est percé dans la tôle est le résidu, on crée alors un trou et l'opération réalisée est le *poinçonnage*. Dans tous les cas la pièce finale a une taille inférieure à la pièce initiale.

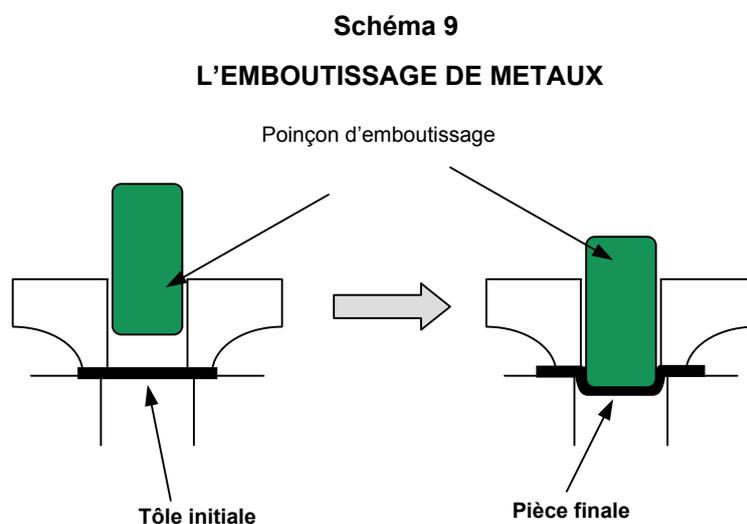
Dans ce type de déformation l'épaisseur de la tôle ne varie pas sauf dans les cas où il y a des reliefs sur les recoupes. Dans ce cas on parle de *monnayage*, processus surtout employé pour la fabrication de pièces de monnaie.

2.6.2. La description des opérations de découpe à l'emporte-pièce et d'emboutissage de métaux et les considérations environnementales

Pour réaliser l'**emboutissage** d'une pièce on doit placer celle-ci dans un creux situé entre le poinçon et la matrice ou étampe qui soit légèrement supérieur à l'épaisseur de la tôle.

Le processus consiste à faire descendre le poinçon de façon à ce que la tôle entre dans l'espace cité, de cette manière elle se déforme sans se casser. Une fois que la pièce a été déformée, l'extraction de celle-ci se fait à l'aide d'un ressort lorsque le poinçon a cessé de faire pression.

Nous montrons le processus d'emboutissage sur le schéma suivant.



Source : Schéma réalisé à partir de *Tecnología de los oficios metalúrgicos*, A. Leyensetter, 1987.

Si, à l'aide du poinçon, on applique une force supérieure à celle que peut supporter la tôle, cette dernière se casse. De toute façon on peut dépasser la déformation maximale que peut supporter la tôle par des emboutissages successifs entre lesquels on intercale des recuits intermédiaires. Le processus serait le suivant :

Emboutissage → Recuit → Nouvel emboutissage...

Les surfaces de la tôle, de l'étampe et du poinçon doivent toujours rester très lisses et correctement lubrifiées. La fonction du lubrifiant est d'éviter le grippage du matériel contre la matrice et de diminuer la force nécessaire à l'emboutissage. Les types de lubrifiants utilisés sont des eaux avec du savon et des émulsions d'huiles végétales dans de l'eau.

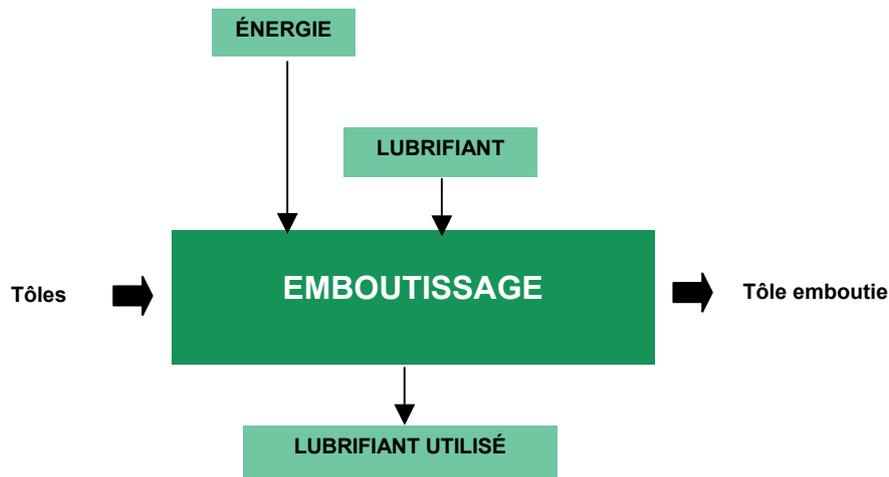
Dans le cas de la **découpe à l'emporte-pièce**, le processus est semblable à celui de l'emboutissage car on place la tôle dans une matrice et l'on effectue une pression avec un poinçon, mais, dans ce cas, on effectue une plus grande pression de manière à obtenir la séparation de la pièce finale du matériel de base. Lorsque le poinçon pénètre dans le matériel, ce dernier devient tout d'abord concave mais lorsqu'on poursuit l'action du poinçon, on dépasse la limite de fluage matériel et une rupture se produit.

L'opération de découpe à l'emporte-pièce ne requiert en général pas de lubrifiant mais on pourra utiliser des liquides selon la sorte de pièce que l'on voudra obtenir.

Le schéma suivant montre les principaux aspects environnementaux du processus d'emboutissage qui, comme on peut l'observer, découlent de l'utilisation du fluide de coupe.

Schéma 10

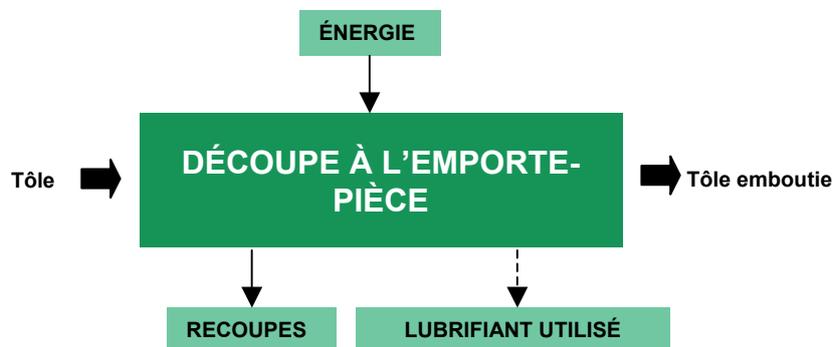
LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROCESSUS D'EMBOUTISSAGE



Le principal aspect environnemental associé au processus de découpe à l'emporte-pièce est le résidu métallique final qui est créé par les recoupes.

Schéma 11

LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROCESSUS DE DECOUPE A L'EMPORTE-PIECE



2.7. La production de profils à froid par façonnage par pliage

2.7.1. La description générale du processus de production de profils à froid par façonnage par pliage

Ce processus consiste à modifier à l'aide de forces de flexion la forme du matériel de base afin d'obtenir des pièces ayant un profil déterminé.

Le matériel de base sont des tôles, des tubes et des fils de fer qui, une fois le processus réalisé, donnent naissance à des pièces ayant un profil déterminé.

Si l'on utilise comme matériel de base des tôles d'acier venant du laminage à chaud il est utile de réaliser un décapage chimique préalable afin d'éliminer l'oxyde et, dans certaines occasions, un recuit pour ramollir le matériel.

2.7.2. La description des opérations de production de profils à froid par façonnage par pliage et les considérations environnementales.

Il existe différents processus pour obtenir des profils à froid par le biais du pliage en fonction de l'outillage utilisé. Nous décrivons ci-dessous les plus significatifs :

- **Le pliage libre**

On donne librement une forme à la pièce initiale par pliage à la main ou à la presse. Dans le cas des incurvations de tubes, pour éviter qu'ils ne soient écrasés, il faut les remplir au préalable ou bien utiliser un guide adéquat dans la machine d'incurvation des tubes.

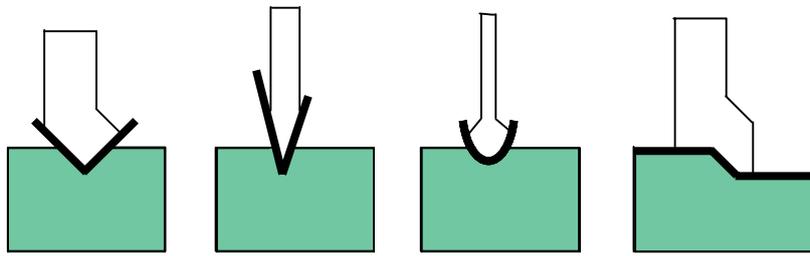
- **Le pliage avec bigorne**

Ce processus est semblable à celui de l'emboutissage expliqué précédemment. Interviennent aussi un poinçon qui, par pression, plie la pièce contre la bigorne ou enclume, donnant naissance à des profils divers comme le montre le schéma 12.

Par le biais de cette technique, on réalise aussi l'arrondi et le cannelé. Dans l'arrondi, la pièce est comprimée contre une zone ronde de l'étau, en commençant par un des bords de la pièce de manière à ce que cette dernière adopte la forme arrondie à l'aide d'une courbure graduelle. Dans la cannelure, le poinçon produit un cannelé dans la pièce.

Schéma 12

LES DIFFERENTS PROFILS OBTENUS PAR PLIAGE AVEC BIGORNE



Source : Schéma réalisé à partir de *Tecnología mecánica y metrotécnica*, J. M. Lasheras, 1997.

▪ **Le pliage par enroulement**

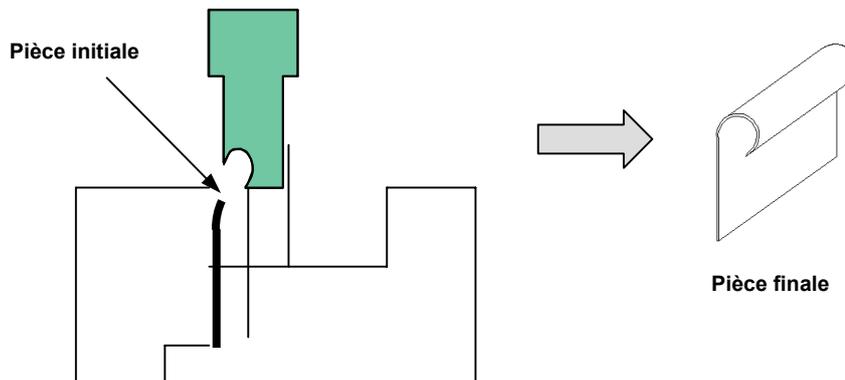
Par le biais de cette technique, la pièce se courbe de manière continue en la poussant à travers un instrument dont la superficie active est courbe. C'est ainsi que l'on plie les fils de fer, les tôles, les tubes, etc.

En premier lieu, il faut plier une extrémité de la pièce, puis la pièce avec la courbure initiale est introduite dans la partie inférieure de la matrice d'enroulement en plaçant le côté plié vers le haut afin de procéder au pliage complet.

Nous montrons ce processus sur le schéma suivant.

Schéma 13

LE PLIAGE PAR ENROULEMENT



Source : Schéma réalisé à partir de *Tecnología de los oficios metalúrgicos*, A. Leyensetter, 1987.

▪ **Le profilage**

Ce processus transforme progressivement une tôle plane en la bande profilée désirée par glissement de cette dernière à travers une série de paires de rouleaux qui la font avancer tout en la façonnant.

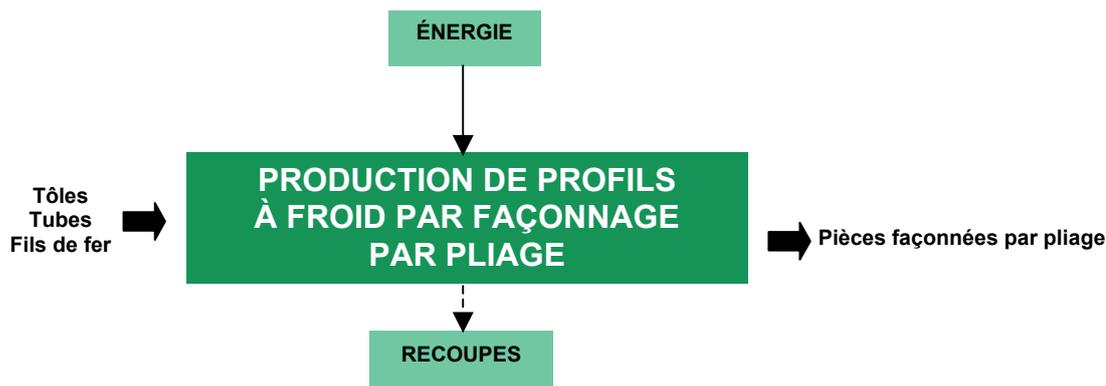
Les principaux aspects environnementaux du processus de production de profils par façonnage par pliage ont trait à la consommation d'énergie car le processus n'a pas besoin de fluide de coupe ni d'eau pour lubrifier ou réfrigérer le matériel ou les machines.

Dans le cas où l'on aurait effectué une recoupe de la pièce pour le façonnage définitif du profil, on obtient du processus un résidu métallique.

Le tableau suivant montre les aspects environnementaux.

Schéma 14

**LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROCESSUS DE PRODUCTION DE PROFILS
A FROID PAR FAÇONNAGE PAR PLIAGE**



2.8. L'usinage

2.8.1. La description générale de l'usinage

L'usinage consiste à façonner des pièces provenant d'une première transformation métallurgique par l'enlèvement des couches superflues ou des copeaux afin d'obtenir des pièces d'une configuration géométrique déterminée.

Normalement, la matière première est composée de pièces modelées, forgées, étampées et laminées, l'usinage complète donc des processus de façonnage précédents.

L'origine de l'usinage est la coupe du métal qui peut être réalisée manuellement ou par le biais d'une machine-outil (l'usinage proprement dit).

Les machines-outils enlèvent les couches superflues à l'aide :

- de lames,
- d'abrasifs,
- d'étincelles électriques,
- d'ultrasons,
- de faisceaux électroniques (ils volatilisent le matériel),
- d'électrolyse dirigée.

En fonction de la précision du finissage de la pièce, on peut distinguer trois types d'usinage :

▪ L'ébauchage

La finalité de ce type d'usinage est d'adapter les dimensions de la pièce à la dimension finale, le matériel éliminé possède donc une taille de l'ordre de millimètres ou de dixièmes de millimètres.

- **Le finissage**

Dans ce cas, l'objectif est d'obtenir les mesures finales de la pièce et, en même temps, de diminuer la rugosité de la surface ; le matériel éliminé est alors de l'ordre de centièmes de millimètres.

- **Superfinissage ou rectification**

On obtient des pièces ayant des dimensions très précises et un finissage superficiel très soigné. Dans ce cas, le matériel rejeté possède des dimensions de l'ordre de millésimes de millimètres.

2.8.2. La description des opérations d'usinage et les considérations environnementales

Les principales opérations d'usinage sont :

- **Le tournage**

C'est la plus importante des opérations d'usinage. Elle se base sur l'enlèvement de copeaux à l'aide d'un instrument de coupe, sur une pièce qui tourne autour de son axe. Les produits obtenus sont donc des corps de révolution.

Le processus de tournage comprend deux étapes en fonction de la quantité de matériel enlevé. En premier lieu, on réalise un ébauchage de la pièce, puis on termine ce dernier en enlevant des particules de taille inférieure à celles de l'étape précédente.

Photographie 1

UN TOUR



Cédée par Canaletas, S. A.

- **Le fraisage**

Cette opération se base sur l'utilisation d'une autre machine-outil, la fraise, qui est composée de fils de coupe multiples, en forme de corps de révolution. La fraise agit sur la pièce en tournant autour de son axe.

Pour réaliser l'opération on fait plusieurs chariotages. Les premiers se font avec la fraise de dégrossissage aux dents robustes pour enlever une quantité considérable de matériel. Les derniers chariotages, ceux qui correspondent au finissage, se font avec des fraises qui possèdent un plus grand nombre de dents moins robustes que les précédentes.

Au moyen de cette technique, on obtient des surfaces planes et courbes, à rainures droites, à rainures en spirales et à rainures hélicoïdales, ainsi que des filets.

▪ Le perçage

Au cours de ce processus, on utilise un outil, le foret, qui produit un trou cylindrique dans la pièce qui, elle, demeure immobile pendant le déroulement de l'opération.

Le foret a deux tranchants pour enlever les copeaux bien qu'exceptionnellement ils peuvent être au nombre de quatre pour réaliser des trous de grand diamètre.

Normalement le type de foret utilisé est hélicoïdal.

▪ Le filetage

On appelle filetage le processus d'adaptation des trous d'une pièce fabriquée pour être utilisée comme filet. En fonction de la surface filetée, nous distinguons deux types de produits :

- les écrous : on filete la surface interne
- les vis : on filete la surface externe

La photographie suivante montre l'opération de filetage à l'aide d'une machine à fileter et la production de copeaux dérivée du processus.

Photographie 2
L'OPERATION DE FILETAGE



Cédée par Gamor, S. L.

▪ **Le mandrinage**

Le mandrinage consiste à élargir un trou existant jusqu'à obtenir le diamètre requis. Ce trou a été préalablement réalisé à l'aide d'une perceuse ou par des processus de fonte ou de forge, des systèmes peu précis, raison qui fait que l'on doit utiliser cette technique.

Comme pour le tournage, le processus d'enlèvement de copeaux suit une trajectoire hélicoïdale. Cependant, contrairement au tournage, la pièce ne tourne pas autour de son axe, mais elle effectue seulement un mouvement d'avancée.

▪ **Le brochage**

Cette opération consiste à enlever, de manière linéaire et progressive, un copeau de la surface de la pièce à l'aide d'un instrument appelé broche.

La broche est composée d'une grande quantité de tranchants, parfois plus de cent, disposés de manière que chacun d'entre eux est légèrement plus haut que le précédent afin d'enlever progressivement le matériel de la pièce. Le mouvement de l'instrument est rectiligne et on ne réalise qu'une seule opération.

Cet instrument coûte généralement très cher, c'est pourquoi il faut traiter de grandes quantités de pièces pour amortir l'investissement. Ce type de pièces réalisées en grandes quantités est généralement destiné à l'industrie de l'automobile.

▪ **Rectification**

Le but de cette opération est d'enlever des copeaux de tailles très réduites pour parachever la pièce de grande précision.

L'instrument utilisé dans ce processus est la meule qui est composée de deux éléments principaux. L'un d'eux est l'abrasif, du verre particulièrement dur et de dimension réduite, qui se charge d'enlever les copeaux. L'autre élément important est l'agglomérant qui donne une forme géométrique et de la résistance à la meule tout en maintenant fixe l'élément abrasif.

La rectification est l'opération d'usinage la plus importante qui utilise des abrasifs, mais il existe d'autres procédés semblables tels que l'ébarbage, le polissage et l'aiguisage.

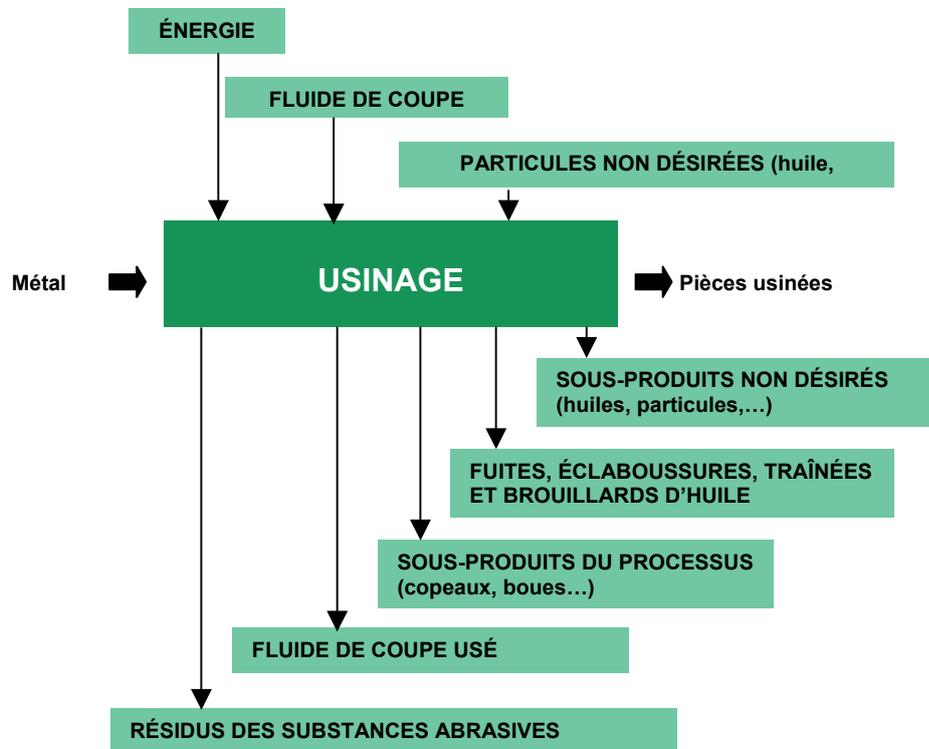
Quant aux aspects environnementaux produits au cours de ce processus d'usinage, on peut signaler la consommation d'énergie et, plus particulièrement, de fluide de coupe, nécessaire pour refroidir le matériel et l'instrument et vaincre le frottement dans le processus d'usinage.

Les courants résiduels créés sont surtout le fluide de coupe usé, les émissions atmosphériques (vapeurs d'huile) et la ferraille ainsi que les copeaux imprégnés d'huile ou de fluide de coupe.

Le tableau ci-dessous présente la schématisation de ces aspects environnementaux.

Schéma 15

LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROCESSUS D'USINAGE



Source : Schéma réalisé à partir du *Libro Blanco para la Minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del Metal*, IHOBE, S. A.

2.9. Les traitements thermiques

Les traitements thermiques sont des processus qui se caractérisent par la modification des propriétés mécaniques des pièces à l'aide de cycles de chauffe et de refroidissement du matériel. Parmi les traitements thermiques principaux, on peut distinguer le recuit, la trempe et le revenu.

2.9.1. Le recuit

Le recuit consiste à chauffer la pièce jusqu'à une température de 800 à 925° C, variable en fonction du contenu en carbone de l'acier, suivi d'un refroidissement lent. Par ce traitement on parvient à augmenter la ductilité de la pièce en même temps que l'on en réduit la dureté.

Les caractéristiques apportées aux pièces par le recuit en font un procédé réalisé avant l'usinage et l'emboutissage, car il facilite son façonnage en homogénéisant sa structure, en affinant le grain et en ramollissant en général le matériel.

D'autre part, les opérations réalisées à froid telles que le laminage, le tréfilage, l'étirage et, dans certaines occasions, le pliage, sont généralement suivies d'un processus de recuit afin d'éliminer l'âcreté et les tensions internes que produit le travail à froid. Dans ces cas, on réalise un type spécial de recuit, le *recuit de récupération d'efforts*, en chauffant la pièce à une température inférieure à la température ordinaire qui se situe autour de 500° C bien que, selon la composition du matériel, elle peut être plus élevée, autour de 700° C. De cette manière, la structure interne modifiée au cours de l'étirage de la pièce est récupérée car les grains récupèrent leur condition originale de mollesse et de

ductilité. Parfois, ce type de recuit se fait dans un récipient fermé, rempli de gaz inerte afin d'éviter l'oxydation de la surface, il s'agit alors d'un *recuit brillant*.

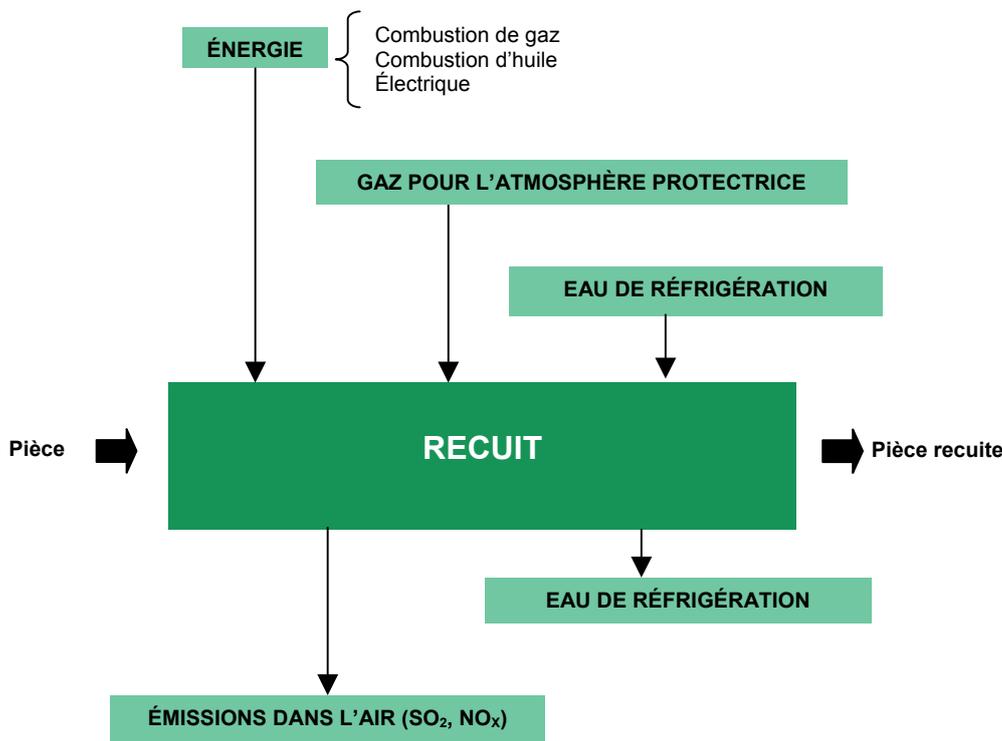
La chauffe du processus de recuit se fait dans des fours appelés *fours de recuit*, alimentés par l'énergie électrique ou du combustible. Normalement, on maintient dans le four une atmosphère protectrice de gaz inerte afin d'éviter la réaction des particules présentes dans le gaz avec la surface du matériel, ou bien dans des atmosphères réductrices composées de N₂. Le processus dure environ quatre heures.

Selon ce que nous venons d'exposer, la chauffe du matériel lors du processus de recuit est suivie d'une phase de refroidissement de ce dernier d'autant plus lente que l'on veut obtenir un matériel plus ductile mais qui, généralement, dure quarante-huit heures. Ce refroidissement peut se faire dans le même four de recuit, en enterrant le matériel chaud sous du sable sec, des cendres ou du calcaire ou bien en le laissant refroidir à l'air. Il est aussi possible de renforcer l'effet de refroidissement dans le four à l'aide d'une pulvérisation d'eau sur la gaine protectrice du four, en introduisant de l'air au-dessus ou en utilisant un système de réfrigération qui refroidisse l'atmosphère protectrice.

Les principaux aspects environnementaux associés au processus de recuit sont la consommation d'énergie du four et les émissions dérivées de la combustion des gaz. Dans le cas où l'on utilise de l'eau pour accélérer le refroidissement de la pièce, il faudra aussi tenir compte de la consommation d'eau et de la création d'eaux résiduaires. Ces aspects sont repris dans le tableau ci-dessous.

Schéma 16

LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROCESSUS DE RECUI



Source : Schéma réalisé à partir du *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria de proceso de metales férreos*.

2.9.2. La trempe

Le but de la trempe est de durcir et d'augmenter la résistance à l'usure de la pièce par le biais d'un réchauffement à une température d'entre 850 et 1 000° C et d'un refroidissement postérieur rapide. La trempe se fait normalement après le processus de tréfilage du fil de fer à froid.

Le durcissement provoqué par la trempe a lieu parce qu'à ces températures le carbone contenu dans le matériel commence à se dissoudre dans le fer et forme une solution solide appelée *austénite* qui, lorsqu'elle se refroidit subitement, crée une nouvelle structure connue sous le nom de *martensite*, très dure et à la fois fragile, présentant une résistance à la traction plus élevée que la première. L'instabilité créée dans la pièce par ce processus requiert un traitement postérieur de revenu qui diminue les efforts internes et régénère la ductilité de la pièce.

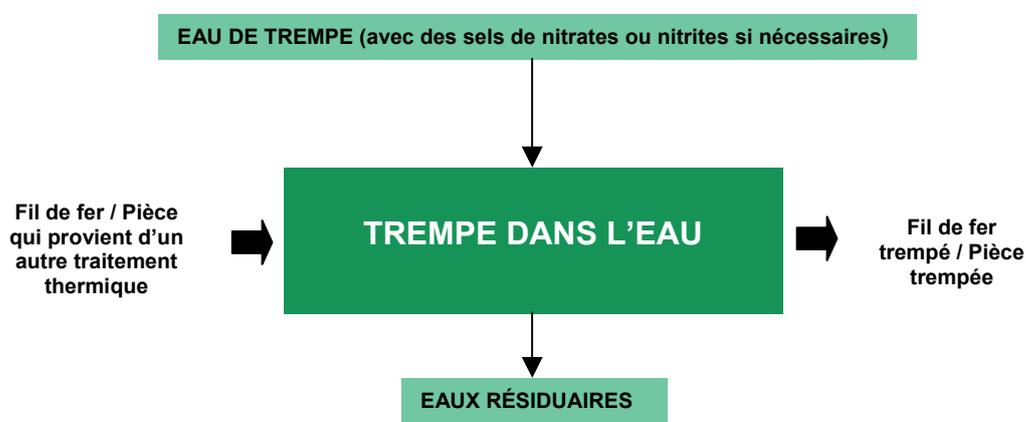
Comme nous l'avons décrit précédemment, le processus de trempe débute par une étape de chauffe qui se fait généralement sous une atmosphère protectrice en utilisant de l'électricité ou des gaz de combustion. Le refroidissement postérieur se fait normalement dans de l'huile bien que l'on puisse aussi utiliser d'autres moyens tels que de l'eau ou de l'eau avec des additifs. Le moyen utilisé pour le refroidissement dépend des propriétés que l'on souhaite donner à la pièce :

- Le refroidissement à l'eau est plus brusque étant donné que la rapidité de refroidissement de ce moyen est plus rapide, ce qui confère plus de dureté à la pièce et, en même temps une plus grande fragilité. Pour parvenir à une dureté maximale de la pièce on ajoute à l'eau des sels de nitrates ou nitrites.
- La trempe dans l'huile consiste à refroidir la pièce dans une citerne d'huile et, étant donné la rapidité moindre du refroidissement dans cette dernière par rapport à l'eau, la dureté finale de la pièce est légèrement inférieure à celle obtenue avec la trempe à l'eau, mais on obtient, en échange, une réduction du risque de distorsion et de fendillement. Cette technique est essentielle pour les pièces de formes complexes, c'est-à-dire composées de particules fines et grosses.

Les aspects environnementaux propres à la trempe dans l'eau résident dans l'eau consommée et dans l'eau résiduaire obtenue après le processus.

Schéma 17

LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA TREMPE DANS L'EAU

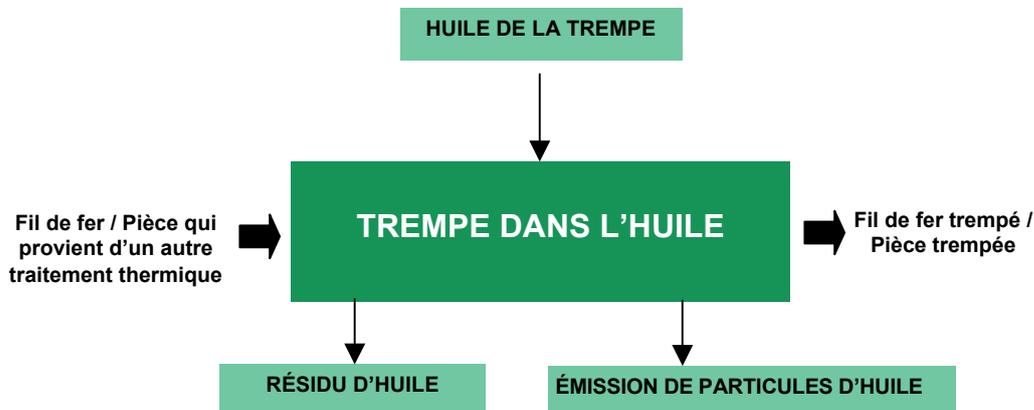


Source : Schéma réalisé à partir du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Ferreos*.

Dans le cas de la trempe dans l'huile, les principaux aspects environnementaux ont trait à la consommation d'huile en tant que moyen de trempe, au résidu final de l'huile et aux émissions d'aérosols d'huile.

Schéma 18

LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA TREMPE A L'HUILE



Source : Schéma réalisé à partir du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

2.9.3. Le revenu

Le revenu est un traitement habituel pour les pièces qui ont été préalablement trempées, il est appliqué dans le but de diminuer la dureté et la résistance apportée par la trempe et d'éliminer les tensions créées en améliorant de cette façon la ténacité de la pièce.

Le processus de revenu consiste à chauffer la pièce à une température (température de revenu) variable selon la résistance et la ductilité que l'on souhaite donner à la pièce, et à son refroidissement postérieur à l'air ou à l'eau et, dans certains cas, dans des bains liquides d'huile, de sels fondus ou de métaux fondus.

Le revenu est appliqué à la suite de la trempe effectuée lors du processus de tréfilage à froid. Concrètement, dans ce revenu le fil de fer est soumis à des températures allant de 300 à 500° C, dans un four à chauffage électrique ou à chauffage direct avec un gaz de combustion bien qu'il est aussi possible d'utiliser un chauffage par induction.

Un autre processus de façonnage dans lequel a lieu une opération de revenu est le laminage à froid. Lors de ce processus, on réalise une opération spéciale de revenu, le *revenu par laminage*, qui consiste à soumettre la bande à un léger laminage superficiel à l'aide de trains de revenu afin d'obtenir ainsi une réduction de l'épaisseur de 0,3 à 2 %. L'objectif final de cette opération est de modifier les propriétés mécaniques de l'acier et d'obtenir le finissage superficiel souhaité.

Le matériel d'entrée dans les trains de revenu sont des bandes préalablement recuites, on obtient la même bande mais plus plane et qui présente le finissage superficiel désiré.

La bande est introduite dans le train de revenu à une température inférieure à 50° C, elle s'y déplace à travers des rouleaux. Le train se compose normalement d'une ou deux boîtes de quatre cylindres superposés, mais on utilise aussi des boîtes de deux ou six rouleaux superposés. Les rouleaux et les cylindres présentent une finition très précise afin de contrôler la rugosité finale de la bande d'acier.

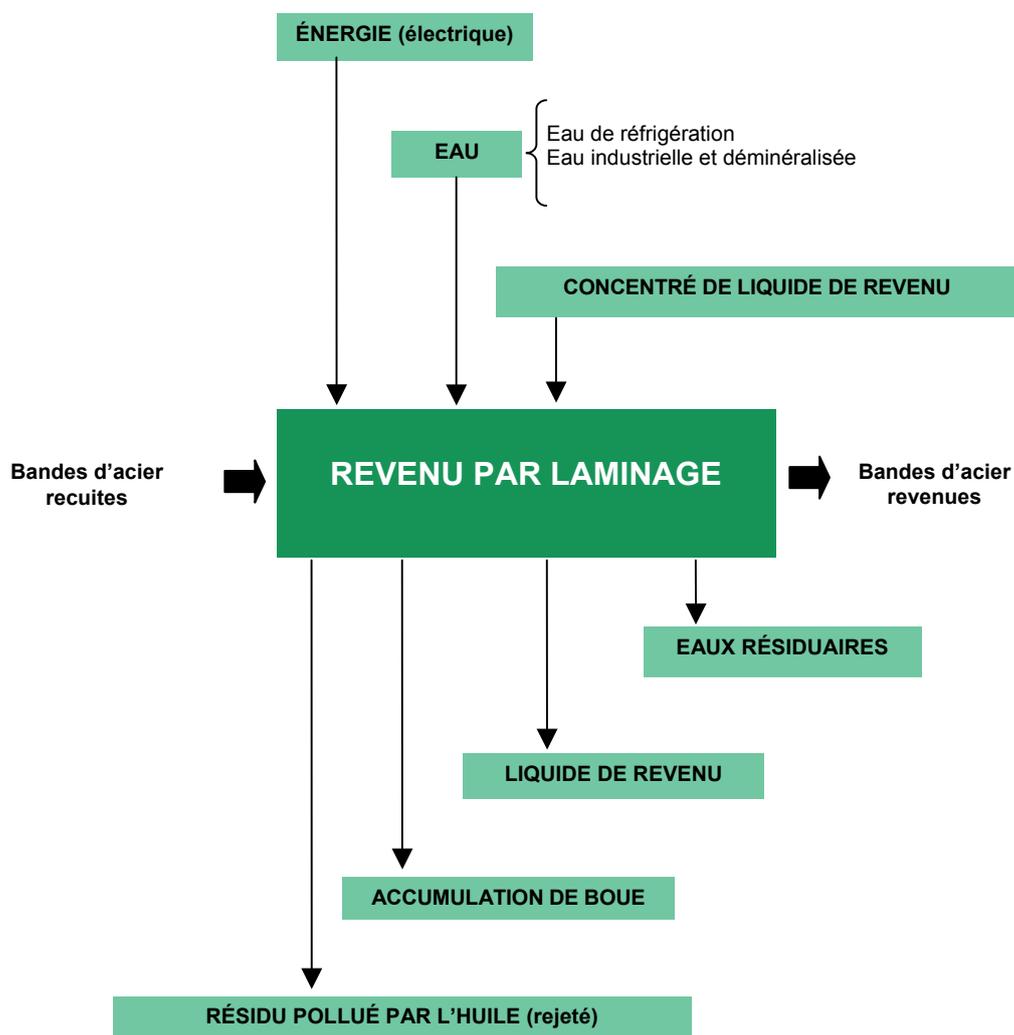
Le revenu de l'acier inoxydable se réalise normalement à sec, sans avoir besoin d'appliquer de l'huile ou un liquide pour refroidir. Par contre, dans le revenu de l'acier au carbone, on utilise un liquide qui est composé d'une solution à 5 % d'un agent de laminage de revenu humide qui élimine les résidus possibles du processus présents sur la bande.

Pour ce processus on a aussi besoin d'énergie électrique pour le fonctionnement du train de laminage et pour le système hydraulique.

Les aspects environnementaux de ce processus sont repris sur le tableau suivant.

Schéma 19

LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU REVENU D'ACIER AU CARBONE

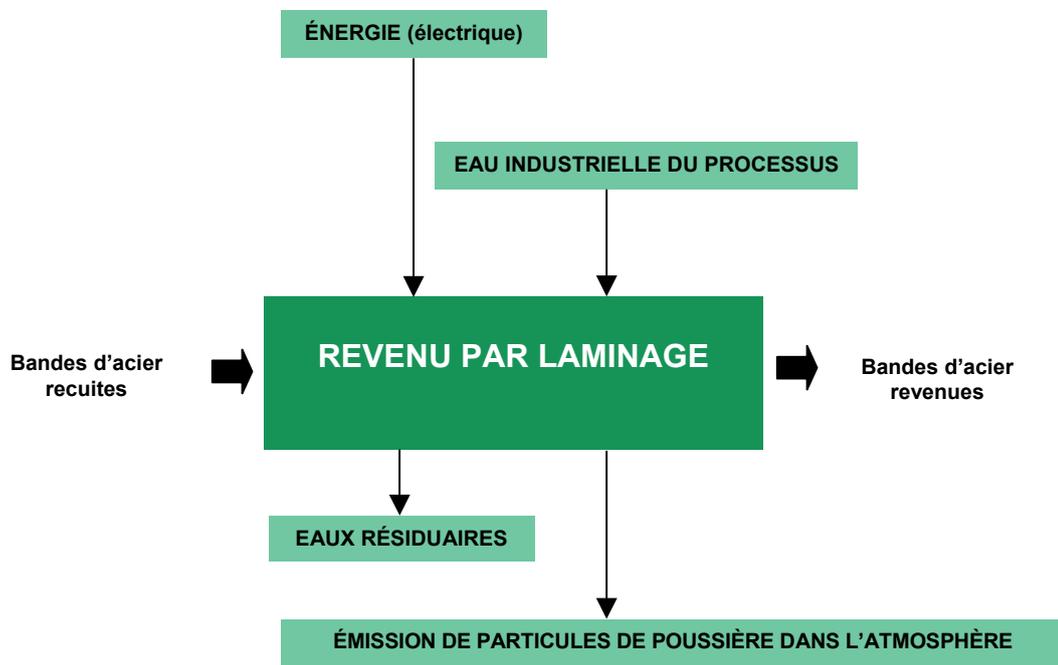


Source : Schéma réalisé à partir du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

Dans le cas de l'acier inoxydable il n'y a pas d'approvisionnement en eau de réfrigération ni en liquide de revenu, il ne se produit donc pas de courants résiduels dérivés de ces consommations (résidu pollué par de l'huile, du liquide de revenu et de l'accumulation de boues). Le schéma suivant résume les principaux aspects environnementaux du processus de revenu de l'acier inoxydable.

Schéma 20

LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU REVENU D'ACIER INOXYDABLE



Source : Schéma réalisé à partir du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Ferreos*.

2.10. Les opérations de dégraissage

Étant donné que l'on utilise des fluides de coupe dans les opérations de déformation et d'usinage, les pièces obtenues lors de ces processus sont imprégnées de restes de ce fluide. Il faut donc prévoir une étape finale de dégraissage afin d'éliminer les restes d'huile et de graisse qui adhèrent à la surface. On obtient ainsi une pièce propre et prête à recevoir des traitements superficiels postérieurs tels que la peinture ou la galvanisation.

Au cours du processus de dégraissage on utilise initialement un bassin de nettoyage, normalement agité afin d'augmenter l'effet de nettoyage, qui contient une solution dégraissante et, par la suite, on rince la pièce avec de l'eau.

En fonction de la composition de la solution dégraissante, on distingue deux types d'opérations de dégraissage utilisées le plus fréquemment : le dégraissage chimique et le dégraissage électrolytique.

Dans le cas du **dégraissage chimique**, le bassin de nettoyage peut contenir, outre de l'eau, deux types différents de dégraissants : des dissolvants et des détergents.

Les dissolvants normalement utilisés sont des dissolvants chlorés qui s'appliquent directement sous forme liquide ou sous la forme de vapeur. Voici les plus utilisés dans ce processus :

- le trichlorétane, le trichloréthylène et le perchloréthylène
- le chlorure de méthylène
- le trichlorofluoroéthane
- le chloroforme

Quant aux détergents, les éléments tensioactifs de leur composition permettent d'éliminer les huiles et les graisses qui adhèrent à la surface de la pièce, le processus se fait dans un milieu alcalin. Dans ce type de milieux, on trouve généralement la formule suivante :

- de la soude caustique
- du carbonate sodique
- du phosphate trisodique $12 \cdot H_2O$
- du métasilicate sodique $5 \cdot H_2O$
- des humectants
- des complexes métalliques

L'autre type de dégraissage, le **dégraissage électrolytique**, consiste à soumettre les pièces à un processus d'électrolyse dans une solution alcaline. Les particules présentes dans cette solution attaquent les graisses qui adhèrent à la surface de la pièce qui agit comme cathode, de manière que les graisses sont libérées de la surface et se solubilisent dans le bain de dégraissage. Au cours du processus, il se crée aussi des oxydes métalliques à cause de la réduction que provoquent les particules d'hydrogène. La solution alcaline se compose principalement :

- de soude caustique
- de phosphate trisodique $12 \cdot H_2O$
- de gluconate sodique

Les principaux aspects environnementaux du processus de dégraissage sont la création d'effluents liquides résiduels et les émissions dans l'atmosphère, comme le montre le schéma 21.

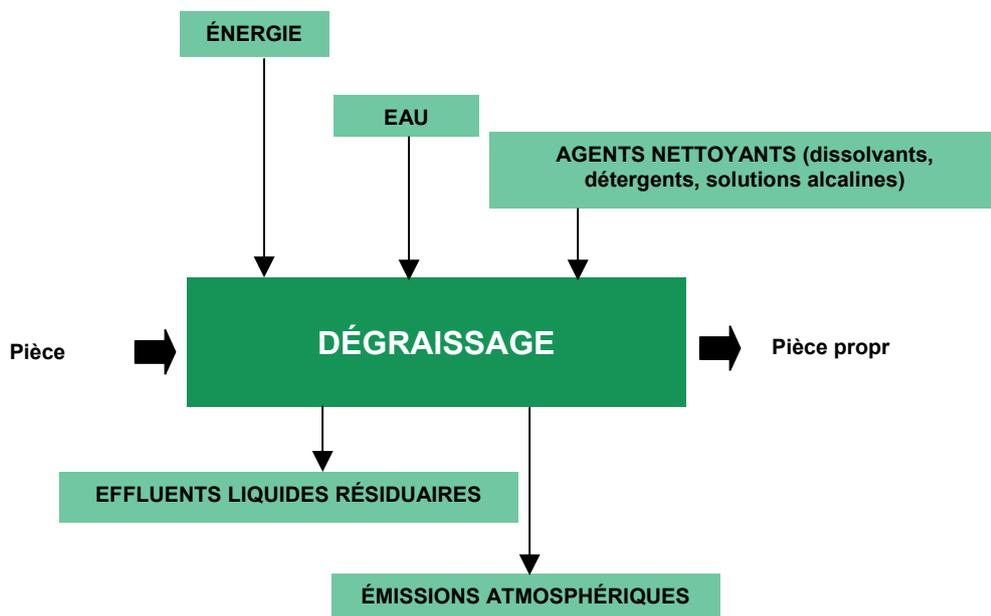
Les effluents liquides résiduels proviennent des bains de dégraissage et de rinçage à l'eau de la pièce une fois qu'elle a été dégraissée. Ces effluents, à part de l'eau, des huiles, des graisses et de petites particules, contiennent des dissolvants halogénés ou des sels sodiques avec des tensioactifs, en fonction du type de dégraissage effectué.

D'autre part, les émissions dans l'atmosphère contiennent des composés organiques volatiles (COV) dus à l'utilisation de dissolvants halogénés et de la vapeur d'eau lorsque le bain se fait à chaud.

Les principaux aspects environnementaux produits lors du processus de dégraissage sont résumés, de manière schématique, sur le tableau suivant.

Schéma 21

LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROCESSUS DE DEGRAISSAGE



Source : Schéma réalisé à partir du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

3. LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'INDUSTRIE DU SOUS-SECTEUR DE L'USINAGE DU METAL

Les aspects environnementaux traités dans cette section portent sur la consommation d'eau, la consommation d'énergie, les effluents liquides résiduaires, les résidus solides et les émissions atmosphériques présentes dans le processus décrit au point 2 du manuel. Nous avons aussi considéré opportun d'exposer brièvement les aspects liés au bruit.

3.1. La consommation d'eau

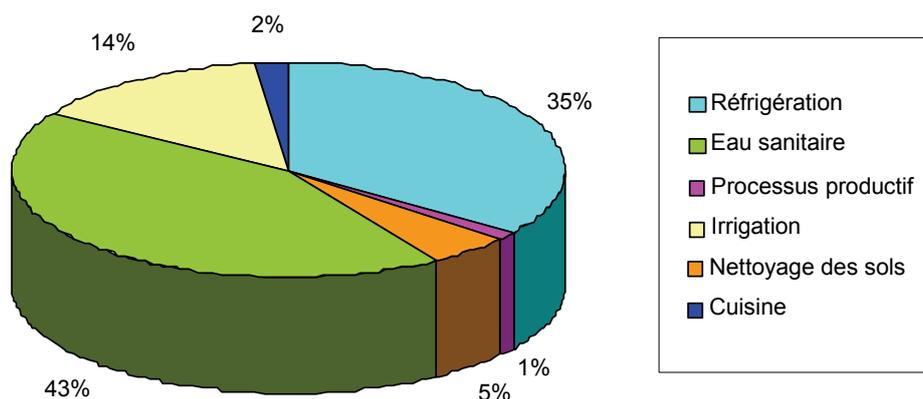
La consommation d'eau dans le secteur de l'usinage du métal oscille sensiblement d'une entreprise à une autre en fonction de leur dimension et de l'activité qui s'y déroule. L'eau provient en général du réseau public, mais on utilise en proportions moindres de l'eau déminéralisée pour la préparation des fluides de coupe aqueux.

La principale consommation provient de l'eau sanitaire et de réfrigération de l'installation, le reste est destiné à des opérations auxiliaires de nettoyage de la ligne et du sol industriel ainsi qu'au processus productif proprement dit.

Le schéma suivant illustre ces consommations dans une entreprise du secteur de l'usinage du métal qui dispose, en outre, d'un espace vert et d'une cuisine.

Schéma 22

LA CONSOMMATION D'EAU DANS UNE ENTREPRISE D'USINAGE DE METAL (EXEMPLE)



Source : Schéma réalisé à partir des données de Componentes Mecánicos, S. A.

L'exemple montre clairement que la consommation d'eau pour le processus dans ce secteur n'est pas élevée car les utilisations principales sont associées à des activités communes à n'importe quel type d'entreprise : sanitaire et réfrigération.

Quant à l'eau utilisée dans les processus de façonnage des pièces, sa consommation se divise principalement en :

- **Préparation d'émulsions huileuses**

Des opérations telles que le laminage à froid, l'emboutissage, le perforage et le fraisage, qui utilisent des fluides de coupe à base aqueuse, consomment de l'eau déminéralisée pour leur préparation.

- **Traitement thermique**

Les traitements thermiques tels que le recuit, la trempe et le revenu utilisent parfois de l'eau lors de l'étape de refroidissement de la pièce.

- **Opérations de dégraissage**

Il y a consommation d'eau pour le processus lors des étapes de lavage et de dégraissage des pièces imprégnées d'huile à cause de l'utilisation étendue de fluides de coupe dans les opérations typiques d'usinage et de la présence de processus de trempe dans l'huile.

- **Réfrigération du processus**

Les processus qui entraînent une augmentation de la température consomment de l'eau pour refroidir les transformateurs, les moteurs et les machines en général ou bien pour éliminer la charge thermique absorbée par le fluide de coupe.

Il faut souligner que les consommations d'eau de processus spécifiques ne sont pas très élevées car les émulsions huileuses comme les bains de refroidissement et de lavage sont généralement réutilisées. Certaines entreprises appliquent même des techniques afin d'optimiser leur entretien et d'augmenter, par conséquent, leur vie utile.

Le nettoyage de l'usine requiert une mention spéciale car la consommation d'eau y est remarquable si on la compare avec l'eau utilisée dans le processus lui-même. Les fuites, les éclaboussures et les écoulements de fluide de coupe ainsi que les pertes par dégouttement pendant le transvasement des pièces obligent à un nettoyage régulier des lieux de travail avec de l'eau et des détergents.

Nous vous montrons ci-après des données sur les consommations d'eau lors de processus de laminage à froid et de tréfilage à froid. Elles tiennent aussi bien compte de l'eau utilisée pour la réfrigération du système que de l'eau déminéralisée pour la préparation d'émulsions. Il y a aussi des données sur les consommations d'eau pour le recuit d'acier qui a été, au préalable, laminé à froid.

Tableau 3. Les consommations d'eau lors du laminage à froid et du tréfilage à froid

PROCESSUS	EAU DE RÉFRIGÉRATION DU PROCESSUS	EAU DÉMINÉRALISÉE
Laminage d'aciers au carbone dans un laminoir tandem	5 - 6,5 m ³ /t	0,014 - 0,04 m ³ /t
Laminage d'aciers au carbone dans des trains réversibles	3,2 - 3,5 m ³ /t	0,02 - 0,06 m ³ /t
Laminage d'acier inoxydable dans des trains réversibles	20 - 35 m ³ /t (l'eau est remise en circuit)	-
Tréfilage à sec	Non disponible (grande variation)	-
Tréfilage humide	Non disponible (grande variation)	0,02 - 0,25 m ³ /t
PROCESSUS	EAU DE L'ÉTAPE DE REFROIDISSEMENT DU RECUIT	
Recuit continu d'acier au carbone	23 m ³ /t	
Recuit discontinu d'acier au carbone	5 - 10 m ³ /t	
Recuit d'acier inoxydable	0,15 - 1,1 m ³ /t	

Source : Données extraites du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

Le tableau montre des consommations réduites d'eau déminéralisée en comparaison avec celle de l'eau utilisée pour le processus de réfrigération car, pour la dilution d'huiles on n'a pas besoin d'une grande quantité d'eau. On peut observer l'absence de ce type de consommation dans les opérations qui n'utilisent pas d'émulsions d'huile telles que le tréfilage à sec à froid pour lequel le lubrifiant est du savon ajouté à divers additifs et le laminage à froid de l'acier inoxydable qui consomme habituellement de l'huile au lieu d'émulsions.

Quant à la consommation d'eau dans le recuit, elle varie selon la méthode suivie pour refroidir la pièce.

3.2. La consommation d'énergie

Les entreprises du secteur utilisent deux sources d'énergie, l'énergie électrique – qui constitue la source principale – et le gasoil ou le gaz naturel, qui sont utilisés comme source secondaire.

Dans le processus de fabrication, ces sources donnent lieu à deux types de consommations :

- La consommation d'énergie électrique pour le fonctionnement des machines utilisées lors des différents processus de déformation et d'usinage (trains de laminage, machines de tréfilage, presses, tours, fraises, etc.), pour des équipements complémentaires tels que machines à laver pour le dégraissage, centrifugeuses pour la récupération de l'huile des pièces, copeaux, etc., et finalement pour les pompes, les transmissions, les ventilateurs, etc.
- La consommation de gaz ou de fuel pour les fours et les chaudières utilisés dans les traitements thermiques.

Nous présentons ci-dessous les consommations d'énergie pour les processus de laminage à froid et le recuit postérieur.

Tableau 4. Les consommations d'énergie dans le laminage à froid

PROCESSUS	CONSOMMATION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE	CONSOMMATION D'ÉNERGIE À VAPEUR
Laminage d'acier au carbone dans des laminoirs tandem	0,2 - 0,3 GJ/t	0,01 - 0,03 GJ/t
Laminage d'acier au carbone dans des trains réversibles	0,24 - 0,245 GJ/t	-
Laminage d'acier inoxydable dans des trains réversibles	0,6 - 0,8 GJ/t	-

Source : Données extraites du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

Tableau 5. Les consommations d'énergie dans le recuit postérieur au laminage à froid

PROCESSUS	CONSOMMATION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE	CONSOMMATION D'ÉNERGIE CALORIQUE
Recuit discontinu du laminage à froid d'aciers au carbone	0,06 - 0,12 GJ/t	0,62 - 0,75 GJ/t
Recuit continu du laminage à froid d'aciers au carbone	0,173 - 0,239 GJ/t	0,775 - 1,483 GJ/t
Recuit du laminage à froid d'acier inoxydable	0,3 - 0,4 GJ/t	1,0 - 1,5 GJ/t

Source : Données extraites du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

Sur le tableau 4 on peut observer une consommation d'énergie additionnelle sous forme de vapeur dans le laminage d'acier au carbone du laminoir tandem, cela est dû au chauffage de l'émulsion, mais cette opération ne se réalise pas toujours.

3.3. Les effluents liquides résiduels

Les effluents liquides résiduels produits dans le sous-secteur de l'usinage du métal ont une composition variable selon le processus dans lequel ils sont créés, bien qu'en général ils se caractérisent par la présence élevée d'huiles et de graisses, de solides en suspension et de matière organique dissoute ou non, provenant de l'utilisation de fluides de coupe. En général on peut les classer comme suit :

- Les effluents liquides résiduels des processus de déformation et d'usinage : les fluides de coupe usés

Comme nous le décrivons dans le chapitre 2 du manuel, la plupart des techniques de déformation et les opérations d'usinage en général ont pour caractéristique principale l'utilisation de fluides huileux pour lubrifier et réfrigérer le système.

Nous fournissons ci-dessous de l'information sur les consommations de ce type de fluide lors de processus de déformation tels que le laminage à froid et le tréfilage à froid, ainsi que les types de fluides consommés.

Tableau 6. La consommation de fluide pour le façonnage métallique dans plusieurs processus

PROCESSUS	CONSOMMATION DE FLUIDE	TYPE DE FLUIDE	SORTIE D'ÉMULSION RECYCLÉE INTÉRIEUREMENT
Laminage d'aciers au carbone (tandem)	0,3 - 2 kg/t ¹	Huile de laminage	5.000 - 13.200 kg/t
	0,014 - 0,04 m ³ /t	Eau déminéralisée	
Laminage d'aciers au carbone (réversible)	0,1 - 0,11 kg/t	Huile de laminage	8,5 - 9, 0 m ³ /t
	0,02 - 0,06 m ³ /t	Eau déminéralisée	
Laminage d'acier inoxydable (réversible)	1,5 - 6,0 l/t	Huile minérale	-
Tréfilage à sec	1 - 4 kg/t	Savon alcalin + additifs	-
Tréfilage humide	1 - 10 kg/t	Émulsion de savon préformulée ou huile	20 - 250 l/t ²
	20 - 250 l/t	Eau de dilution	
¹ Cette donnée inclut la consommation d'huile de la ligne de décapage ² Cette donnée inclut la boue éliminée par filtrage ou décantation			

Source : Données extraites du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

En ce qui concerne les données du tableau, les valeurs de sortie d'émulsion recyclée intérieurement dans le laminage de l'acier inoxydable et le tréfilage à sec n'apparaissent pas car on n'ajoute pas d'eau au lubrifiant utilisé pour ces processus.

Au fil du temps, le fluide de coupe utilisé lors des processus de déformation et d'usinage perd les propriétés qu'il possédait initialement et est pollué par des huiles externes, des lubrifiants, des huiles hydrauliques, des particules solides, des micro-organismes, de la poussière, etc. qui réduisent son efficacité. Pour en maintenir la qualité et allonger sa vie utile, il faut le contrôler et l'entretenir, puis, finalement, le remplacer par du fluide de coupe nouveau lorsque sa nature physique et chimique se dégrade à un point tel qu'il ne peut plus accomplir les fonctions de base pour lesquelles il a été appliqué. Ce processus produit un résidu final, le fluide de coupe usé qui peut être traité dans l'entreprise elle-même, alors que normalement il est stocké dans des bidons pour être recueilli plus tard par une entreprise autorisée et être traité.

Comme nous l'avons décrit dans le chapitre 2.2 de ce manuel, les fluides de coupe contiennent des additifs qui sont soit des substances dangereuses pour l'environnement soit des précurseurs d'une substance qui l'est.

Les polluants habituels présents dans les fluides de coupe sont résumés sur le tableau suivant.

Tableau 7. Les polluants habituels dans la composition des fluides de coupe

TYPE DE FLUIDE DE COUPE	POLLUANTS
Huiles de coupe	Métaux lourds ¹ Particules métalliques ¹ Paraffines chlorées Huiles soufrées, phosphorées et sulfochlorées Composés polycycliques
Fluide de coupe aqueux	Métaux lourds ¹ Particules métalliques ¹ Nitrites ² Amines Dérivés du bore Hydrocarbures solubilisés Huiles libres Phénols
¹ Les métaux lourds et les particules métalliques sont polluants, ils sont présents dans le fluide de coupe comme conséquence du processus et non pas inhérents au fluide. ² Les nitrites ne sont actuellement pas employés comme composé initial mais ils sont produits par la dégradation des amines.	

Source : Données extraites du *Libro Blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE, S. A.

L'impact environnemental des fluides de coupe usés est produit par l'émission dans l'atmosphère de particules polluantes par incinération ou par les déversements d'eaux résiduaires qui contiennent ces fluides. Dans ce dernier cas, les fluides de coupe aqueux sont plus problématiques car, comme ils se dispersent facilement en milieu aqueux, ils transmettent à ce milieu les polluants présents dans leur composition. Par contre, les huiles de coupe ne sont pas solubles en milieu aqueux, bien qu'un contact prolongé avec de l'eau favorise la dispersion d'une partie de leurs polluants. En outre, en milieu aqueux, les huiles présentes dans les fluides de coupe montent dans la cape superficielle du fluide rendant difficile son oxygénation et favorisant la croissance de bactéries anaérobiques.

Le tableau suivant résume de manière générale les principaux impacts environnementaux associés aux fluides de coupe.

Tableau 8. Les principaux impacts environnementaux des fluides de coupe

ASPECT ENVIRONNEMENTAL DES FLUIDES DE COUPE	IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES FLUIDES DE COUPE
Émission dans l'atmosphère	Pollution atmosphérique
Déversements d'eaux résiduaires	Pollution d'écosystèmes aquatiques
Fuites et éclaboussures	Pollution des sols

Il faut remarquer qu'une partie du fluide de coupe se perd à travers les fuites et les éclaboussures, les traînées sur les pièces, les copeaux et le brouillard d'huile.

Les fuites et les éclaboussures peuvent avoir une importance variable selon les caractéristiques des machines et de l'équipement des installations. Concrètement, les fuites sont dues à des défauts dans le plan d'entretien du système qui fournit le fluide de coupe ou au fait qu'il n'existe même parfois pas du tout, ce qui provoque la pollution du sol industriel.

D'autre part, les éclaboussures sont produites par la grande vitesse des processus de déformation et d'usinage qui font qu'une certaine quantité de fluide de coupe soit projetée hors de la machine ou des instruments. Cet effet est aggravé dans le cas d'absence de carénages des machines, bien qu'en général les plus modernes incorporent souvent un système de rétention dans la structure. Les huiles de coupe étant plus visqueuses, elles adhèrent plus facilement à la surface de la pièce et des instruments, ce qui produit moins d'éclaboussures que le fluide de coupe aqueux.

D'autre part, la traînée de fluide de coupe sur les pièces et les copeaux provoque aussi une perte de ce fluide ; cet effet est aggravé par la complexité de la structure de certaines pièces et leur position au cours des processus d'usinage. Contrairement au phénomène des éclaboussures, les traînées de fluide de coupe et de copeaux sont plus importantes à mesure qu'augmente la viscosité du fluide, cet effet est particulièrement considérable lors de l'utilisation d'huiles de coupe.

Nous montrons ci-dessous la proportion de fluide de coupe dans chacun des courants résiduaux.

Tableau 9. La distribution des pertes de fluide de coup

ASPECT ENVIRONNEMENTAL	% DU FLUIDE DE COUPE INITIAL	
	FLUIDE DE COUPE AQUEUX	HUILE DE COUPE
Fluide de coupe utilisé	15 - 25	40 - 65
Fuites	30 - 40	1 - 5
Éclaboussures		
Traînées	30 - 35	30 - 35
Brouillard d'huile	1	4 - 6

Source : Données extraites du *Libro Blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE, S. A

- Les effluents liquides résiduaux provenant du système de réfrigération

La plupart des entreprises du secteur utilisent un circuit fermé pour minimiser la consommation d'eau de réfrigération. Les effluents résiduaux produits au cours de ce processus proviennent donc de la purge qui se fait pour l'entretien correct de l'eau. Le cas échéant, le volume d'eau à éliminer est réduit.

Pour pouvoir réutiliser l'eau de réfrigération à l'aide de circuits fermés, elle doit être refroidie et traitée. Le refroidissement se fait par le biais de tours de réfrigération, d'échangeurs de chaleur ou de tours de réfrigération hybrides. Par la suite, l'eau est traitée pour éviter sa dégradation à l'aide d'inhibiteurs de corrosion, de stabilisateurs de dureté, de disperseurs et de biocides, ce qui fait que la composition de l'eau évacuée périodiquement est caractérisée par la présence de ces éléments.

Dans le cas où la réfrigération du système se réalise par un circuit ouvert ou par l'application directe d'émulsion sur les pièces et les machines, l'effluent liquide qui en découle possède les mêmes caractéristiques que les effluents des processus décrits précédemment, c'est-à-dire qu'il contient des huiles et des graisses provenant de l'utilisation de fluides de coupe et des copeaux, des particules métalliques, des particules de poussière, etc. qui ont pu être entraînées tout au long du processus.

- Les effluents liquides résiduaire des processus de dégraissage

Les effluents liquides résiduaire provenant des opérations de dégraissage se caractérisent par une composition qui varie selon le type de dégraissant utilisé, que ce soient des dissolvants halogénés ou des dégraissants aqueux en milieu basique.

Dans le cas du dégraissage avec des dissolvants halogénés, ils contiennent, outre les dissolvants, des graisses, des particules métalliques, etc. présentes dans les pièces avant le dégraissage.

D'autre part, les eaux qui proviennent du dégraissage par dégraissants aqueux en milieu basique contiennent, outre des graisses et des huiles, des sels sodiques comme les hydroxydes, les carbonates, les phosphates et les métagélicates ainsi que des éléments tensioactifs et complexants (EDTA, NTA, etc.) de nature organique.

Le volume des effluents produits lors du processus de dégraissage peut être réduit à l'aide de la régénération des solutions utilisées. Ces solutions sont généralement recyclées dans le processus à travers un circuit fermé, mais elles doivent être périodiquement évacuées car elles perdent leurs propriétés nettoyantes. L'effluent résiduaire obtenu des processus de dégraissage doit être traité étant donné son contenu en détergents et en dissolvants

- Les eaux résiduaire du processus de nettoyage des installations

La composition des eaux résiduaire produites lors des opérations auxiliaires de nettoyage des installations se caractérise par la présence d'huiles provenant de fuites ou d'éclaboussures de fluide de coupe, en plus des détergents utilisés.

Il faut souligner que seulement un petit pourcentage d'entreprises du secteur dispose d'une station d'épuration, en général physico-chimique, pour traiter les eaux résiduaire qu'elles produisent. En général, les opérations réalisées dans ces stations consistent à homogénéiser les effluents résiduaire et à décanter les métaux dissous à l'aide d'un coagulant ou d'un floculant. Ces processus créent des boues, gérées en général par des entreprises externes, après réduction de leur pourcentage d'humidité à l'aide d'un filtre presse ou d'une centrifugeuse.

Nous montrons ci-dessous un tableau avec les valeurs des eaux résiduaire produites lors du processus de laminage à froid et du recuit.

Tableau 10. Les eaux résiduaire de plusieurs processus

PROCESSUS	EAU RÉSIDUAIRE	OBSERVATIONS
Laminage d'aciers au carbone (tandem)	0,003 - 0,015 m ³ /t	Provenant de l'entretien de l'émulsion
Laminage d'aciers au carbone (réversible)	0,006 - 0,07 m ³ /t	Provenant de l'entretien de l'émulsion
Recuit discontinu du laminage d'aciers au carbone à froid	2,04 E - 4 m ³ /t	Eau polluée avec de l'huile (rejetée)
Recuit continu du laminage d'aciers au carbone à froid	0,118 m ³ /t	
Recuit du laminage à froid d'acier inoxydable	0,4 - 0,5 m ³ /t	Inclut l'eau utilisée pour le décapage

Source : Données extraites du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

Vous trouverez **ci-dessous** les données se rapportant à l'évacuation de toute l'eau d'une usine de laminage à froid, c'est-à-dire en considérant la totalité de l'eau résiduaire provenant des différentes opérations (laminage, recuit, dégraissage, etc.).

Tableau 11. Les eaux résiduaires dans une usine de laminage à froid (exemple)

	USINE DE LAMINAGE EN CONTINU D'ACIER AU CARBONE	USINE DE LAMINAGE RÉVERSIBLE D'ACIER AU CARBONE	USINE DE LAMINAGE RÉVERSIBLE D'ACIER INOXYDABLE
Évacuation des eaux résiduaires	0 - 40 m ³ /t	0 - 6 m ³ /t	(~0) - 35 m ³ /t
Évacuation des eaux résiduaires du processus de traitement d'eaux résiduaires (sauf la réfrigération sans recirculation)	0 - 12 m ³ /t	–	–
Total solides en suspension	7 - 120 mg/l 3 - 520 g/t	(~0) - 2.210 mg/l (~0) - (~160) g/t	0 - 60 mg/l 0 - (~180) g/t
DQO	19 - 5.300 mg/l	15 - 100 mg/l	10 - 2.000 mg/l

Source : Données extraites du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

Le tableau montre la diminution du volume d'eau résiduaire produite dans le laminage en continu d'acier au carbone lorsque cette eau est traitée et, par conséquent, une partie remise en circuit dans le système, en réduisant ainsi la consommation d'eau nouvelle.

3.4. Les résidus solides

Les processus de déformation et d'usinage provoquent une diversité de résidus solides qui peuvent être classés en :

- Matière première rejetée
- Boues
- Moyens de filtrage avec huile ou dissolvant
- Chiffons sales
- Meules et matériel de meulage utilisé
- Carton, plastique et bois d'emballage

3.4.1. La matière première rejetée

Des résidus se forment pendant les processus de déformation et d'usinage, ils proviennent de la matière première utilisée, tels que des rognures, de la ferraille, de la limaille et des copeaux, etc. Ces résidus peuvent être utilisés dans l'entreprise même comme matière première ou dans d'autres entreprises comme sous-produits à condition de les séparer auparavant selon leur composition.

Le principal problème pour la réutilisation de ces résidus réside dans le fait qu'ils sont généralement imprégnés de fluide de coupe, ce qui oblige à séparer au préalable l'huile des résidus métalliques pour son utilisation postérieure. Cependant, si l'on a travaillé avec du fluide de coupe particulièrement

visqueux, même si le temps de décantation est prolongé, ce fluide de coupe peut encore représenter entre 30 et 40 % du poids de la tournure selon sa géométrie.

Finalement, les résidus métalliques sont généralement gérés par des récupérateurs de ferraille et sont surtout recyclés dans les aciéries.

La production de ce type de résidus dépend du processus et du produit final réalisé dans l'entreprise, mais il représente en général le pourcentage le plus élevé des résidus produits.

3.4.2. Les boues

On peut distinguer différents types de boues selon le processus dans lequel elles ont été produites bien que leur composition soit semblable étant donné l'utilisation de fluide de coupe dans la plupart des opérations.

Un type de boue provient des processus de régénération des fluides de coupe utilisés dans les opérations de déformation et d'usinage dont le traitement final est, en général, l'incinération. La photographie suivante montre la boue obtenue du nettoyage – à l'aide d'un filtre en papier – du fluide de coupe qui est réintroduit dans le système.

Photographie 3

BOUE OBTENUE DE LA REGENERATION DU FLUIDE DE COUPE



Cédée par Componentes Mecánicos, S. A.

D'autre part, les processus d'épuration des eaux résiduaires produisent une boue provenant de la purge des installations de traitement de cette eau avec un fort contenu en huile.

Une autre sorte de résidus produits sont les boues provenant de la régénération de dissolvants halogénés utilisés dans les opérations de dégraissage, expliquées dans le paragraphe 2.10 de ce manuel.

Finalement, ces processus d'usinage qui emploient des outils ayant une géométrie non définie comme, par exemple, les opérations de rectification, produisent des boues qui contiennent de petites particules métalliques, enlevées à la pièce, du fluide de coupe et du matériel abrasif. La composition de ces boues est très variable car le fluide de coupe peut représenter jusqu'à 50 % de son poids. Cependant, dans d'autres cas, il se trouve en proportions réduites, face à des pourcentages de matériel abrasif ou de particules métalliques de 75 et même de 90 % respectivement.

Ci-dessous, vous trouverez un tableau présentant des données sur l'accumulation de boues produites lors de processus de laminage à froid, de revenu et de recuit.

Tableau 12. L'accumulation de boues dans différents processus

PROCESSUS	ACCUMULATION DE BOUES
Laminage d'aciers au carbone (tandem)	0,9 - 1,5 kg/t
Laminage d'aciers au carbone (réversible)	1,9 - 2,0 kg/t
Recuit continu du laminage à froid d'aciers au carbone	0, 018 - 0,047 kg/t
Revenu du laminage à froid d'acier fortement et faiblement allié	2,0 - 4,0 kg/t

Source : Données extraites du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Ferreos*.

La boue des processus de laminage se produit lors du nettoyage des émulsions utilisées. La boue qui provient du recuit provient de l'utilisation d'agents de laminage de revenu humide nécessaires pour les opérations d'ébauchage préalables au recuit et à l'utilisation d'huile anticorrosive. Finalement, l'accumulation de boue des processus de revenu du laminage à froid provient de l'utilisation de solutions à 5 % d'agents de laminage de revenu humide.

Les boues ne doivent pas être versées sans un traitement préalable à cause des éléments présents dans leur composition, ces derniers peuvent provoquer la pollution du sol et polluer aussi les eaux souterraines et superficielles lorsqu'elles sont filtrées ou entraînées par les eaux de pluie. Le tableau 13 permet d'observer les différents traitements que reçoivent les boues selon leur composition.

3.4.3. Les autres résidus

Voici d'autres types de résidus produits lors des processus décrits dans le manuel :

- Des filtres utilisés lors de l'entretien du fluide de coupe, dans les systèmes d'extraction de particules et dans la filtration du dissolvant utilisé dans les opérations de dégraissage. Pour réduire la production de ce résidu on peut travailler avec des filtres réutilisables.
- Des chiffons utilisés lors des processus de nettoyage.
- Des meules et du matériel de meulage usé.
- Les résidus généraux d'usine tels que les cartons, les plastiques et les bois qui ont servi d'emballage à la matière première.

Vous trouverez ci-après un tableau qui reprend les résidus mentionnés selon la classification donnée par le Catalogue européen des déchets (CED).

Tableau 13. Les résidus du modelage et du traitement physique et mécanique de surface de métaux

Activité	Type de résidu	CED	Classe	POSSIBILITÉS DE GESTION	
				Mise en valeur	Traitement et élimination des déchets
PROCESSUS DE DÉFORMATION ET D'USINAGE	Limailles, copeaux, poussière et particules de métal ferreux	12 01 01 12 01 02	Non dangereux	Recyclage et récupération de métaux ou de composés métalliques	- Élimination de résidus non spéciaux
	Huiles minérales d'usinage qui contiennent des halogènes (sauf les émulsions ou les dissolutions)	12 01 06	Dangereux	-	- Incinération de résidus halogénés - Traitement par évaporation
	Huiles minérales d'usinage sans halogènes (sauf les émulsions ou les dissolutions)	12 01 07	Dangereux	Régénération d'huiles minérales	- Incinération de résidus non halogénés
	Émulsions et dissolutions d'usinage qui contiennent des halogènes	12 01 08	Dangereux	Régénération d'huiles minérales	- Incinération de résidus halogénés - Traitement par évaporation
	Émulsions et dissolutions d'usinage sans halogènes	12 01 09	Dangereux	Régénération d'huiles minérales	- Incinération de résidus non halogénés - Traitement par évaporation - Traitement physicochimique et biologique
	Huiles synthétiques d'usinage	12 01 10	Dangereux	Régénération d'huiles minérales	- Incinération de résidus non halogénés - Incinération de résidus halogénés - Traitement par évaporation
	Boues d'usinage qui contiennent des substances dangereuses	12 01 14	Dangereux	Recyclage et récupération de métaux ou de composés métalliques	- Traitement par évaporation - Incinération de résidus non halogénés - Incinération de résidus halogénés - Stabilisation - Élimination de résidus spéciaux
	Boues d'usinage différentes de ce qui a été spécifié dans le code 12 01 14	12 01 15	Non dangereux	-	- Traitement par évaporation - Incinération de résidus non halogénés - Stabilisation - Élimination de résidus spéciaux
	Boues métalliques (boues de meulage, de rectification et de rodage) qui contiennent des huiles	12 01 18	Dangereux	Régénération d'huiles minérales Recyclage et récupération de métaux ou de composés métalliques	- Incinération de résidus non halogénés
	Huiles d'usinage facilement biodégradables	12 01 19	Dangereux	Régénération d'huiles minérales	-
	Meules et matériaux de meulage usés qui contiennent des substances dangereuses	12 01 20	Dangereux	-	- Élimination de résidus spéciaux
	Meules et matériaux de meulage usés différents de ceux spécifiés dans le code 12 01 20	12 01 21	Non dangereux	-	-

Activité	Type de résidu	CED	Classe	POSSIBILITÉS DE GESTION	
				Mise en valeur	Traitement et élimination des déchets
PROCESSUS DE DÉGRAISSAGE	Liquides aqueux de nettoyage	12 03 01	Dangereux	-	- Traitement physicochimique et biologique - Traitement par évaporation - Incinération de résidus non halogénés
	Résidus de dégraissage à la vapeur	12 03 02	Dangereux	-	- Traitement par évaporation - Incinération de résidus non halogénés
	Autres dissolvants et mélanges de dissolvants halogénés	14 06 02	Dangereux	Régénération de dissolvants Utilisation comme charge dans d'autres processus	- Incinération de résidus halogénés
	Autres dissolvants et mélanges de dissolvants	14 06 03	Dangereux	Régénération de dissolvants Utilisation comme charge dans d'autres processus	- Incinération de résidus non halogénés
	Résidus de dégraissage qui contiennent des substances dangereuses	11 01 13	Dangereux	Régénération d'acides ou de bases	- Traitement physicochimique et biologique
	Résidus de dégraissage différents de ceux spécifiés dans le code 11 01 13	11 01 14	Non dangereux		

Source : Données extraites du *Catalogue européen des déchets (CED)* et du *Catálogo de residuos de Cataluña*.

3.5. Les émissions dans l'atmosphère

Les émissions produites par les processus décrits dans ce manuel peuvent être groupées principalement en :

- Brouillards d'huiles et particules volatiles dérivées de l'utilisation de fluide de coupe

Les émissions les plus importantes des processus qui utilisent des fluides de coupe sont les brouillards d'huile. Lors de ces opérations, la vitesse à laquelle tournent les machines et/ou les instruments, liée à la pression d'approvisionnement de fluide de coupe, provoque la formation de gouttes microscopiques ou aérosols d'huile qui se dispersent dans l'atmosphère.

En outre, le fluide de coupe contient des hydrocarbures qui peuvent se volatiliser à cause de la chaleur absorbée pendant le processus. Ce phénomène se produit généralement à cause de l'utilisation de composés aliphatiques et naphthéniques.

Dans les deux cas il existe un risque pour l'environnement qui provient de l'absorption de ces particules par voie respiratoire et le danger pour la santé qui en découle.
- Les composés organiques volatiles et la vapeur d'eau des processus de dégraissage

D'autres émissions peuvent être prises en compte telles que les composés organiques volatiles (COV), dérivés de l'utilisation étendue de dissolvants halogénés dans les processus de dégraissage à cause de leur grande efficacité. Ces composés présentent une température de volatilisation proche de la température ambiante et s'évaporent donc facilement.

En outre, les opérations de dégraissage produisent des émissions diffuses de vapeur d'eau dans l'atmosphère dans le cas où les bains sont faits à chaud. Les émissions varient selon la température et la densité de la solution utilisée, comme on peut le constater sur le tableau suivant. Les valeurs indiquées pour l'eau perdue par évaporation sont données à titre d'orientation, car les valeurs exactes dépendent des caractéristiques concrètes de chaque solution.

Tableau 14. L'évaporation de l'eau provenant des bains de dégraissage

DENSITÉ (g/cm ³)	TEMPÉRATURE (°C)	VALEUR D'ÉVAPORATION (l·m ² /h)
1	50	1
	70	9
	90	23

Source : Données extraites du *Manual de ecogestió, 6. Prevenció de la contaminació en el sector del tractament de superfícies*, Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, 2002.

- Les émissions provenant des fours des traitements thermiques
Les émissions provenant de la combustion des fours de recuit se composent, en général, d'hydrocarbures, SO₂, NO_x, CO et CO₂.
- Les particules produites lors du processus d'usinage dérivées de l'usure des rouleaux, fer sous forme de poussière, etc.

Comme nous l'avons expliqué précédemment, les brouillards et les émissions touchent le milieu de travail, c'est pourquoi certaines entreprises disposent de capteurs de poussière, d'extracteurs, d'aspirateurs et de systèmes semblables pour recueillir ces particules, y compris des filtres et des cyclones. Afin d'éliminer les particules solides du processus d'usinage, ces appareils sont généralement incorporés dans la machine elle-même.

Le tableau ci-dessous montre le volume des émissions produites lors du processus de laminage à froid et leur composition. On peut observer que l'émission de particules d'huile peut être très élevée en comparaison avec les émissions de poussière et d'hydrocarbures.

Tableau 15. Les émissions du processus de laminage à froid

PROCESSUS	AIR RÉSIDUAIRE	ÉMISSIONS DANS L'AIR		
		POUSSIÈRE	HC	HUILE
Laminage d'aciers au carbone (tandem)	1.800 - 2.000 m ³ /t	96 g/t	7 g/t	0,6 - (~150) g/t
		10 - 50 mg/m ³	5 - 20 mg/m ³	0,1 - 15 (34)* mg/m ³
Laminage d'aciers au carbone (réversible)	180 - 850 m ³ /t	-	8,4 - 10,1g/t	0,4 - (~150)g/t
			10 - 12 mg/m ³	0,1 - ~6 mg/m ³
Laminage d'acier inoxydable (réversible)	3.000 - 12.000 m ³ /t	-	-	50 - 80g/t
				10 - 20 mg/m ³

* Chiffre extrême

Source : Données extraites du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

3.6. Le bruit

Normalement, le bruit est fréquent dans les ateliers de déformation et d'usinage à cause de la manipulation de produits tels que des bandes et des profils de grand diamètre, des ventilateurs d'extraction des fours et de leurs brûleurs, ainsi que du fonctionnement des machines à couper, à perforer, à laminer ou, en général, à façonner les pièces.

Ces opérations se réalisent en général à l'intérieur d'une nef ce qui fait que l'impact en est minimisé et le bruit produit pose rarement un problème à l'extérieur. Dans des cas concrets, comme lorsqu'il existe des sources de bruit en dehors de la nef, que ce soient des installations de ventilation ou des installations auxiliaires et, qu'en outre, le processus se situe près d'une zone résidentielle, on devra prendre des mesures pour réduire cet impact.

Ces mesures consistent, d'une part, à revêtir les murs et le plafond d'isolants acoustiques naturels en bois aggloméré ou de plaques de plâtre, de mousse de polyéthylène expansé ou de laine de verre. D'autre part, on peut appliquer des mesures aux équipements de travail afin de réduire le bruit produit par les coups des presses et l'usinage de la pièce tels que des écrans acoustiques, des silencieux et des fermetures. Les normes applicables aux machines neuves exigent cependant un design qui réduise au maximum l'émission de bruit et les vibrations.

Finalement, le bruit produit a une répercussion réelle sur la santé des travailleurs de l'usine, de sorte que, de manière complémentaire aux mesures précédentes, il peut s'avérer nécessaire de prendre des précautions afin de protéger les employés par le biais d'un équipement de protection individuel tel que des protecteurs auditifs (boules Quies, bouchons) ou des casques antibruit.

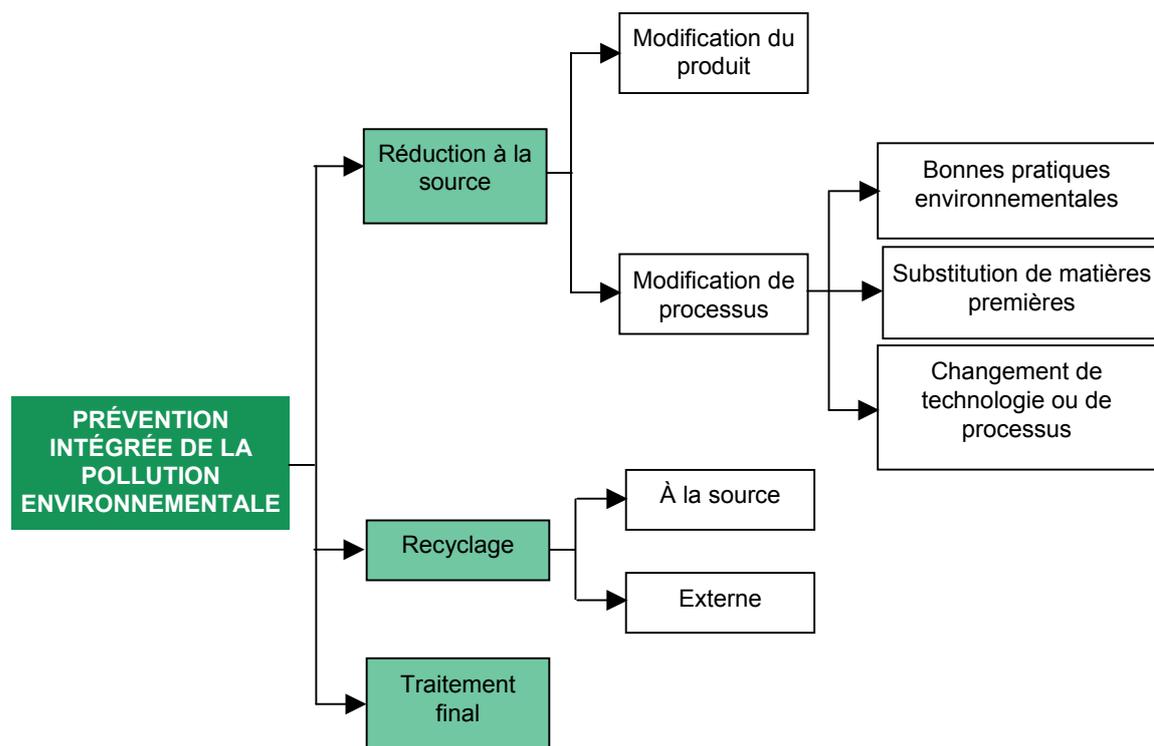
4. LES OPPORTUNITES DE PREVENTION ET DE REDUCTION DE LA POLLUTION

Les processus productifs développés dans l'activité industrielle produisent une série d'impacts environnementaux qui peuvent comporter un risque pour l'environnement et la santé des personnes. Afin de minimiser ces impacts, on peut appliquer une série d'opportunités de prévention de la pollution qui apportent divers bénéfices environnementaux.

La stratégie de prévention de la pollution dans l'entreprise implique l'implantation d'un ensemble d'actions qui visent à prévenir et à réduire la pollution, elles peuvent être classées comme nous l'indiquons ci-dessous.

Schéma 23

LA CLASSIFICATION DES OPPORTUNITES DE PREVENTION INTEGREE DE LA POLLUTION ENVIRONNEMENTALE



En premier lieu, les alternatives que l'on appelle alternatives de réduction à la source de la pollution ont pour objectif d'éviter ou, à défaut, de diminuer en quantité et en dangerosité les courants résiduels avant leur production, ce qui s'obtient par la modification de la composition du produit ou bien à travers des changements dans le processus productif.

Par contre, les opportunités de recyclage n'agissent pas sur l'origine du résidu mais consistent à réutiliser un courant résiduaire une fois qu'il a été produit. Ce résidu peut être réutilisé dans le centre de production même, il s'agit alors d'une alternative de recyclage à la source, ou dans d'autres centres, alternative connue comme recyclage externe. Dans ce dernier groupe de possibilités, on envisage aussi celles qui se rapportent à la récupération d'une ressource matérielle ou énergétique présente dans le résidu (mise en valeur).

Enfin, le traitement final de résidu fait référence à n'importe quelle méthode, technique ou processus qui modifie les caractéristiques d'un résidu dans le but de le neutraliser ou de le transformer en résidu inerte, c'est-à-dire qu'il est moins dangereux, qu'il est apte à le stockage ou que l'on en réduit le volume.

Parmi les possibilités exposées, seuls la réduction et le recyclage à la source sont considérés des alternatives de minimisation de résidus car ils produisent effectivement une diminution dans la production de ces derniers.

Vous trouverez énumérées ci-dessous les opportunités de prévention intégrée de la pollution pour le sous-secteur de l'usinage du métal décrites dans ce manuel.

Tableau 16. Relevé des opportunités de prévention intégrée de la pollution

OPPORTUNITÉS DE PRÉVENTION INTÉGRÉE DE LA POLLUTION	
OPP-1	Nouveau design de la pièce
OPP-2	Réalisation d'un plan de formation pour les travailleurs
OPP-3	Établissement d'un plan de contrôle du fluide pour déformation et coupe de métaux
OPP-4	Design et exécution d'un plan d'entretien du circuit d'approvisionnement du fluide pour déformation et coupe de métaux
OPP-5	Compatibilité des produits des fluides de coupe
OPP-6	Désinfection du circuit d'approvisionnement de fluides pour favoriser les processus de déformation et de coupe de métaux
OPP-7	Aération du fluide utilisé dans les processus de déformation et de coupe de métaux
OPP-8	Optimisation du positionnement de la pièce au cours de l'usinage
OPP-9	Optimisation des conditions de l'application de fluides pour favoriser les processus de déformation et de coupe de métaux
OPP-10	Remplacement du fluide de coupe par d'autres moins polluants
OPP-11	Remplacement d'agents de dégraissage par d'autres moins dangereux
OPP-12	Minimisation de l'excès de matériel
OPP-13	Usinage à sec
OPP-14	Usinage en utilisant la plus petite quantité de lubrifiant possible (technologie MQL)
OPP-15	Dépôt centralisé de fourniture de fluide pour la déformation et la coupe de métaux
OPP-16	Carénage des machines
OPP-17	Laminage en continu au lieu du laminage en discontinu conventionnel pour l'acier faiblement allié et l'acier allié
OPP-18	Recuit discontinu 100 % avec hydrogène
OPP-19	Utilisation de brûleurs de faible niveau de NO _x pour la réduction des émissions de NO _x dans les fours de recuit
OPP-20	Réutilisation des gaz résiduels pour le préchauffage de l'air de combustion dans les fours de recuit
OPP-21	Réintroduction dans le système du fluide de coupe provenant de l'égouttage des pièces et des copeaux
OPP-22	Nettoyage et réutilisation des fluides utilisés dans le processus de déformation et de coupe de métaux
OPP-23	Nettoyage et réutilisation de la solution dégraissante alcaline
OPP-24	Utilisation de matériel filtrant réutilisable
OPP-25	Implantation d'équipements auxiliaires de séparation de fluide de coupe des pièces et des copeaux
OPP-26	Implantation d'équipements auxiliaires d'extraction de brouillards et autres émissions environnementales
OPP-27	Traitement de fluides de déformation et de coupe ou bains de dégraissage usés

4.1. La modification des produits

Dans ce groupe on inclut les alternatives qui supposent une réadaptation des propriétés des produits fabriqués en tenant compte des ressources (eau, énergie et matériaux) qui sont nécessaires et des impacts environnementaux produits depuis le début de la fabrication du produit jusqu'à son utilisation finale.

OPP-1 : Nouveau design de la pièce	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations d'usinage (tournage, fraisage, filetage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Traînée de fluide de coupe sur pièces et copeaux	
Description : Cette alternative consiste à optimiser le design de la pièce afin que sa géométrie offre des possibilités de traînée de fluide de coupe minimales. On atteint ce résultat en évitant les rebords et les coins inutiles pour la morphologie de la pièce qui favorisent la rétention de fluide.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la traînée de fluide de coupe sur les pièces et les copeaux et, par conséquent, amélioration de la qualité de ces dernières. - Réduction de la consommation de fluide de coupe. - Réduction du besoin de dégraissage et de nettoyage des pièces. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Il faut rendre compatible la géométrie adéquate afin de minimiser la traînée de fluide avec la fonctionnalité de la pièce façonnée.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de l'impact environnemental dérivé de la manipulation de pièces et de copeaux imprégnés de fluide de coupe. - Réduction de l'impact environnemental provenant des opérations de dégraissage des pièces (consommation d'eau et de dégraissants, traitement de la solution dégraissante). 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Investissement en R&D pour un nouveau design de la pièce. - Réduction des coûts de consommation de fluide de coupe et des opérations de dégraissage.

4.2. Les bonnes pratiques environnementales

Les bonnes pratiques environnementales consistent à modifier la gestion, le contrôle et l'organisation des processus et des activités industrielles, ainsi que l'action du personnel qui travaille dans l'entreprise afin de minimiser les résidus et les émissions. Ce type de pratiques se caractérise en général par une application simple et leur faible coût. D'autre part, ils requièrent une implication et un changement d'attitude de tout le personnel.

OPP-2 : Réalisation d'un plan de formation pour les travailleurs	
Processus dans lequel on l'applique : Tous les processus	
Aspect environnemental affecté : Tous les aspects environnementaux	
Description : Les plans de formation se basent sur la prise de conscience des problèmes environnementaux associés à l'activité de l'entreprise afin que les travailleurs soient capables d'identifier et de reconnaître les impacts environnementaux liés à leur poste de travail et acquièrent la connaissance des instructions et des procédés adéquats pour les minimiser.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration du fonctionnement du système. - Amélioration dans l'application de moyens de prévention de la pollution. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Formation du personnel de l'entreprise. - La prise de conscience et l'implication des travailleurs sont nécessaires.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la production d'impacts environnementaux en général. 	Résultats économiques: <ul style="list-style-type: none"> - Investissement dans la formation du personnel. - Réduction des dépenses en améliorant le fonctionnement du processus et en diminuant les courants résiduaux provoqués.
Exemples d'application : Une entreprise d'usinage du laiton et de l'aluminium, pour l'obtention de pièces destinées à des équipements de peinture et similaires, a mis en marche un plan de formation de bonnes pratiques dans les processus afin de gérer correctement le dissolvant chloré (perchloréthylène) utilisé dans le dégraissage. Ce composé était occasionnellement et par erreur versé avec un fluide de coupe usé, fait qui rendait impossible le traitement spécifique de ce résidu et augmentait les dépenses produites dans la gestion des résidus. L'entreprise a investi 2 100 € dans un système d'identification et de signalisation de l'usine et dans 10 bidons pour y déposer le dissolvant résiduaire, ainsi que 1 500 € pour un cours de formation des ouvriers. La mesure, dont la période d'amortissement est de 7 mois, a permis de réduire les dépenses annuelles de gestion de résidus d'environ 5 100 €. (Source : IHOBE.)	

OPP-3 : Établissement d'un plan de contrôle du fluide pour déformation et coupe de métaux	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations qui utilisent des fluides pour favoriser les processus de déformation et de coupe (laminage à froid, fraisage, tournage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Consommation de fluide et fluide usé	
Description : Cette alternative consiste à contrôler périodiquement un ensemble de paramètres qui définissent la qualité de fluide utilisé dans les processus de conformation de métaux et, par conséquent, renseignent sur leur état de dégradation et de pollution afin de pouvoir appliquer les mesures de correction les mieux adaptées. Les paramètres à contrôler varient selon la nature du fluide (huile de coupe aqueuse, émulsions de laminage, etc.).	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la vie utile du fluide : <ul style="list-style-type: none"> ▪ L'huile de coupe peut dépasser 8 ans. ▪ Les fluides de coupe aqueux entre 6 mois (dépôt d'approvisionnement individuel) et 2 ans (dépôt d'approvisionnement centralisé). - Évite des arrêts de production imprévus pour changer le fluide. - Diminution du risque de voir les travailleurs affectés. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Exige la définition d'un plan d'actions correctrices selon les résultats obtenus lors du contrôle de la qualité du fluide. - Exige une réorganisation interne du processus de contrôle de fluide et l'établissement de responsabilités. - Possibilité de sous-traitance des opérations de contrôle étant donné la variété de mesures techniques requises pour l'évaluation de chaque paramètre.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la consommation de fluides de coupe et d'eau. - Réduction de la production de résidus de jusqu'à 60 %. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des dépenses dues à la consommation et à la gestion antérieures. - Investissement en appareils de mesure, main d'œuvre et laboratoire externe.
Exemples d'application : L'entreprise décrite dans l'alternative précédente (OPP-2) a installé un système de contrôle analytique de fluide de coupe étant donné la quantité de résidus que produisait ce fluide (15 314 l/an). La mesure a représenté une réduction de 40 % du volume de résidus produits et de 27 % du total de fluide aqueux consommé annuellement. L'investissement en équipement analytique, main d'œuvre et laboratoire externe a supposé une dépense de 2 700 €, récupérée en 7 mois. (Source : IHOBE.)	

Observations :

Le contrôle analytique des paramètres qui déterminent la dégradation et la pollution des fluides utilisés lors des processus de déformation et de coupe contribue à en prolonger la vie utile. Le contrôle cherche à introduire les mesures correctrices afin de maintenir le fluide de coupe dans des conditions optimales.

Dans le cas des huiles de coupe utilisées lors des opérations d'usinage, la dégradation est due, d'une part, au phénomène de la fatigue thermique causée par les fortes températures atteintes lors des processus et, d'autre part, aux réactions chimiques avec les éléments présents dans les particules étrangères au fluide de coupe telles que les copeaux et les huiles hydrauliques.

Le tableau suivant montre les paramètres les plus importants dans le contrôle de l'huile de coupe et les mesures correctrices à employer au cas où ces paramètres doivent être corrigés.

Tableau 17. Les paramètres à contrôler dans les huiles de coupe

PARAMÈTRE	MESURES CORRECTRICES
Viscosité	Adapter les conditions de fourniture ou remplacer l'huile de coupe au cas où il existerait une variation supérieure à 15 % par rapport à la valeur initiale.
Indice d'acidité	Ajouter des neutralisants.
Corrosion des métaux légers	Variable selon la nature du problème et à déterminer grâce aux conseils du fournisseur.
Eau	Installer des filtres de déshumidification.
Spectre infrarouge	Variable selon la modification du spectre.
Insolubles	Filtrer l'huile de coupe au cas où ils dépasseraient 1 %.
Analyse d'additifs	Variable selon la nature de l'additif.

Source : Données extraites du *Libro Blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE, S. A.

D'autre part, la perte de qualité des fluides de coupe aqueux, causée par la fatigue thermique et la réaction chimique mentionnées précédemment est aggravée surtout par la présence de micro-organismes qui métabolisent les composants du fluide de coupe en modifiant sa structure chimique. En outre, la présence de solides et d'huiles favorise la prolifération de ces micro-organismes et, par conséquent, la dégradation du fluide.

Dans le cas de fluides de coupe aqueux, nous montrons ci-dessous les paramètres à contrôler.

Tableau 18. Les paramètres à contrôler dans les fluides de coupe aqueux

PARAMÈTRE	MESURES CORRECTRICES
Concentration	Ajouter du concentré ou de l'eau dessalée selon la valeur de concentration obtenue.
Valeur pH	À déterminer en fonction du résultat conjoint des autres paramètres.
Huiles libres	Réviser le fonctionnement correct des équipements de séparation des huiles.
Concentration de micro-organismes	Adapter la concentration de biocide et/ou de fongicide et, au cas où la concentration de micro-organismes serait supérieure à la valeur limite recommandée, 10 ⁶ germes m/l, remplacer le fluide de coupe et désinfecter le système ou le dépôt.
Conductivité	Remplacer le fluide de coupe si la conductivité est supérieure à 5 000 µs.
Contenu en nitrite	Remplacer le fluide de coupe dans le cas où la concentration de nitrosamines (formées par la réaction des ions de nitrite avec les amines) dépasserait la valeur limite recommandée, 20 mg/l.
Contenu en biocide	Adapter le dosage à la concentration correcte.

Source : Données extraites du *Libro Blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE, S. A.

Quant aux émulsions utilisées dans le processus de laminage, leur dégradation est surtout due à la présence de micro-organismes et à la pollution du fluide par la traînée d'acide des lignes préalables de décapage, la qualité de l'eau utilisée pour refroidir l'émulsion, les fuites d'huile utilisée dans les machines et la concentration de particules fines de fer.

OPP-4 : Design et exécution d'un plan d'entretien du circuit d'approvisionnement du fluide pour déformation et coupe de métaux	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations qui utilisent des fluides afin de favoriser les processus de déformation et de coupe (laminage à froid, fraisage, tournage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Consommation de fluide et fluide usé	
Description : La mesure consiste à établir un contrôle adéquat et méthodique du circuit d'approvisionnement de fluide de coupe et de ses conditions de stockage, dans le but de prévenir les fuites qui pourraient polluer le sol industriel. En outre, le plan d'entretien peut être complété par le contrôle des joints et des conduits de circuit d'approvisionnement d'autres huiles (lubrifiants, huile hydraulique) afin d'éviter qu'ils ne fuient et, par conséquent, ne polluent le fluide de coupe.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des pertes de fluides associées à des fuites et, par conséquent, de consommation. - Réduction dans la fréquence de remplacement du fluide de coupe en évitant que ce dernier ne soit pollué. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Il faut définir les responsabilités du personnel chargé de l'entretien du circuit. - Établir des mesures correctrices en fonction des anomalies détectées.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la consommation et de la production de résidus de fluide de coupe. - Diminution du risque de pollution du sol industriel. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Coûts de l'application du plan d'entretien du circuit et des possibles mesures correctrices. - Réduction des coûts de nettoyage, de fluide de coupe et de gestion des résidus.

OPP-5 : Compatibilité des produits des fluides de coupe	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations qui utilisent des fluides pour favoriser les processus de déformation et de coupe (laminage à froid, fraisage, filetage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Fluide de coupe usé, consommation de matières premières	
Description : L'implantation de cette alternative se base sur l'application de deux types de pratiques. La première consiste à homogénéiser l'utilisation des fluides de coupe jusqu'à utiliser la plus petite quantité possible de composés différents. La deuxième mesure requiert une sélection adéquate de produits tels que les lubrifiants ou les huiles hydrauliques pour que leur influence sur le fluide de coupe, en cas de fuites, soit minime. Il faut considérer la flottabilité et la miscibilité de ces produits afin de prévenir leur influence sur le fluide de coupe et favoriser leur élimination.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la consommation de fluide de coupe. - Réduction du besoin de stockage et simplification du contrôle d'inventaire des matières premières. - Amélioration du rendement des mesures d'entretien appliquées. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Il faut analyser au préalable les caractéristiques techniques des produits consommés. - Il faut intéresser les fournisseurs à cette pratique en tenant compte de leur connaissance sur la nature du produit.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction du résidu de fluide de coupe usé. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Dépenses économiques pratiquement nulles. - Réduction des coûts de consommation et de gestion du résidu de fluide de coupe.
Exemples d'application : Une entreprise qui se consacre à la fabrication d'éléments de fixation pour l'automobile a réalisé une étude afin d'unifier les différents lubrifiants utilisés dans le processus d'étampage, de pointillage et de filetage. Outre une amélioration dans le système de gestion et le stockage des huiles, cette mesure a permis d'obtenir une réduction de 10 % de leur consommation. (Source : IHOBE.)	

OPP-6 : Désinfection du circuit d'approvisionnement de fluides afin de favoriser les processus de déformation et de coupe de métaux	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations qui utilisent des fluides pour favoriser les processus de déformation et d'usinage (laminage à froid, fraisage, tournage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Consommation de fluide et de fluide usé	
Description : Outre le contrôle périodique de la qualité du fluide afin d'en allonger la vie utile, il faut procéder à son remplacement par du fluide nouveau lorsqu'il a perdu ses propriétés. On peut profiter du moment où il faut changer les fluides de coupe usés pour appliquer des produits tels que des biocides et des fongicides dans le circuit d'approvisionnement afin d'éliminer les micro-organismes qui peuvent être présents.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Diminution du risque de pollution bactérienne et, par conséquent, prolongation de sa vie utile. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Pour que la mesure implique une prévention de la pollution, il faut utiliser un désinfectant qui ne comporte pas de risques pour l'environnement. - Création de résidus dérivés des eaux de nettoyage.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la consommation de fluide et du résidu d'environ 20 %. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Investissement dans des opérations de désinfection (eau de nettoyage, désinfectant et main d'œuvre). - Réduction des dépenses en consommation de fluide de coupe et en gestion des résidus.

OPP-7 : Aération du fluide utilisé dans les processus de déformation et de coupe de métaux	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations qui utilisent des fluides de coupe pour favoriser les processus de déformation et d'usinage (laminage à froid, fraisage, tournage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Consommation de fluide et résidus produits	
Description : Cette pratique consiste à permettre régulièrement l'accès d'oxygène au compartiment où se trouve le fluide. Cette aération peut être obtenue par l'application directe d'oxygène ou en actionnant le système de pompage des circuits de fluide de coupe pendant les périodes de repos bien que l'effet obtenu dans ce dernier cas est de moindre intensité.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la vie utile du fluide en évitant la prolifération de bactéries anaérobies qui dégradent sa qualité. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Besoin d'installer une prise d'air comprimé.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la consommation de fluide. - Réduction jusqu'à 10 % de la quantité de résidus produits. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Coûts d'installation de circuits d'air comprimé (investissement variable en fonction des dimensions et de la structure des machines). - Réduction des coûts de consommation de fluides et de la gestion des résidus.

OPP-8 : Optimisation du positionnement de la pièce au cours de l'usinage	
Processus au cours duquel on l'applique : Opérations d'usinage (filetage, tournage, brochage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Traînée de fluide de coupe sur les pièces, consommation de fluide de coupe.	
Description : Consiste à placer la pièce pendant le processus d'usinage de manière à ce que la rétention de fluide de coupe y soit réduite au maximum, ce qui permet d'éviter une partie des pertes de fluide de coupe par traînée.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la traînée de fluide de coupe sur les pièces. - Amélioration des conditions de nettoyage et de dégraissage des pièces. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Étude préalable pour concevoir le processus. - Modification de l'accès à l'outil.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de l'impact environnemental du phénomène de traînée de fluide de coupe sur les pièces. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des coûts en consommation de fluide et en nettoyage et dégraissage.

OPP-9 : Optimisation des conditions d'application de fluides pour favoriser les processus de déformation et de coupe des métaux	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations qui utilisent des fluides pour favoriser les processus de déformation et de coupe (laminage à froid, tournage, fraisage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Consommation de fluide de coupe, formation de brouillards d'huile.	
Description : Pour garantir un niveau adéquat de qualité dans le processus, il faut réviser la pression, la direction et le débit d'application du fluide de coupe. Une réduction de la pression d'approvisionnement jusqu'à la valeur minimale qui assurera la qualité du processus et une direction correcte du fluide permettent de minimiser le risque d'éclaboussures et la formation de brouillards.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la consommation de fluide de coupe. - Réduction d'approximativement 50 % des pertes de fluide de coupe par éclaboussures. - Réduction de la formation de brouillards d'huile. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Besoin d'analyser les conditions d'application du fluide de coupe dans le processus, pour son optimisation. - Besoin de personnel chargé de surveiller régulièrement les conditions d'application du fluide.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la qualité du milieu de travail 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - On n'a pas besoin d'investissements additionnels.

4.3. Le remplacement de matières premières

Ce paragraphe reprend quelques alternatives de prévention de la pollution qui consistent à remplacer certaines matières premières par d'autres moins polluantes ou dangereuses pour l'environnement.

OPP-10 : Remplacement du fluide de coupe par d'autres moins polluants	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations qui utilisent des fluides de coupe (tournage, fraisage, filetage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Brouillards d'huile, risques environnementaux et sur la santé des personnes.	
Description : Pour minimiser l'impact qui dérive de l'utilisation de fluides de coupe, on peut utiliser des fluides d'une composition moins nocive et plus respectueuse de l'environnement. Ce seront des fluides de coupe biodégradables, des fluides avec des additifs spéciaux qui minimisent la formation de brouillard d'huile ou bien des fluides exempts de composants toxiques (amines, soufre, phénol, silicones).	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la formation de brouillards d'huile et, par conséquent, des pertes de ce cette dernière (fluides avec des additifs spéciaux pour minimiser la formation de brouillards d'huile). - Absence de composés dangereux pour l'environnement et la santé des personnes dans le processus, et leurs courants résiduels. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Il faut effectuer différents essais jusqu'à ce que l'on trouve un fluide de coupe qui s'adapte parfaitement au processus.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la qualité de l'environnement de travail. - Réduction de la charge polluante des résidus produits. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la consommation d'huile et de la gestion de résidus dans le cas de fluides qui minimisent la formation de brouillards d'huile.
Exemples d'application : Une entreprise de fabrication de pièces métalliques, par le biais de processus d'emboutissage, de découpe à l'emporte-pièce et de façonnage, a remplacé l'huile de coupe employée dans le processus par un autre exempt de chlore et de soufre. La mesure a exigé de nombreux essais jusqu'à trouver l'huile adaptée au processus qui a permis de réduire la charge polluante des résidus produits ainsi que d'améliorer la qualité du milieu de travail (Source : Fiche P+N n° 14.).	

Observations :

Un lubrifiant est considéré biodégradable lorsque sa dégradation finale après 28 jours est supérieure à 90 %, ce qui est conforme à la technique OCDE 301D qui mesure la consommation d'oxygène ou conforme à la méthode 301B qui détermine le contenu en CO₂.

Quant à la toxicité du produit, elle s'établit en valeurs EC/LC50 qui ne dépassent pas 1 mg/l.

Étant donné l'absence, dans de nombreux pays, de normes légales faisant référence à la fabrication et à l'utilisation de fluides de coupe, il est nécessaire de réduire la présence de composants déterminés lorsqu'on achète un nouveau fluide de coupe, de manière à ce que le risque pour la santé des travailleurs soit réduit et que l'on diminue l'impact environnemental. Nous montrons ci-dessous un tableau qui reprend les critères de sélection de ces fluides selon le Ministère du Travail et des Affaires sociales espagnol¹.

Tableau 19. Les critères de sélection dans l'acquisition de fluides de coupe

CRITÈRES DE SÉLECTION DES HUILES DE COUPE	
POLLUANTS	VALEUR LIMITE
Carbones aromatiques	< 10%
HAP (ex. : benzo(a)pyrène)	< 0,03 mg/l
Chlore organique	< 0,1%
CRITÈRES DE SÉLECTION DE FLUIDES DE COUPE AQUEUX	
POLLUANTS	VALEUR LIMITE
Nitrites (ex. : NO ₂)	< 1 mg/l
N-Nitrosodiéthanolamine (NDELA)	< 0,03 mg/l
Dérivés phénoliques (ex. : phénol)	< 0,05 mg/l
Chlore organique	< 0,1 %
Aldéhyde formique	Réaliser des essais de couleur positive à l'aide d'acide chromotropique, à caractère d'orientation et non excluant. Dans le cas où le résultat serait positif, il faut contrôler l'atmosphère de travail.

Source : Données extraites du site web du Ministère du Travail et des Affaires sociales espagnol (<http://www.mtas.es>).

¹ Voir NTP 317: *Fluidos de corte: criterios de control de riesgos higiénicos (Fluides de coupe : critères de contrôle des risques hygiéniques)*, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Institut national de la Sécurité et de l'Hygiène au Travail).

OPP-11 : Remplacement d'agents de dégraissage par d'autres moins dangereux	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations de dégraissage	
Aspect environnemental affecté : Émission de COV, effluents résiduels de dégraissage	
Description : Il existe des agents de dégraissage qui, étant donné leur dangerosité ou des problèmes environnementaux, doivent être remplacés par d'autres plus respectueux de l'environnement et de la santé des personnes. L'exemple le plus fréquent sont les dissolvants halogénés, surtout les chlorés qui, étant donné leur efficacité, sont utilisés dans les opérations de nettoyage, mais qui sont toxiques à cause de l'émission de composés organiques volatiles (COV) et à cause de la production d'effluents chlorés. Ces agents peuvent être remplacés par des hydrofluoroéthères (HFE), mélanges à base de p-cymène, ou des solutions aqueuses de détergents alcalins. Quant à ces derniers, les dégraissants qui contiennent des dérivés d'EDTA, de NTA ou autres, sont eux aussi problématiques à cause du coût élevé d'épuration des eaux résiduelles qu'ils produisent, c'est pourquoi ils peuvent être remplacés par du gluconate de sodium.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Absence de composés dangereux pour l'environnement dans le processus et dans les courants résiduels associés. - Amélioration des conditions de sécurité au travail. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Requiert une adaptation correcte de la machine existant au produit alternatif. Dans certains cas le remplacement des machines de nettoyage s'avère nécessaire. - Variation de la qualité de dégraissage de la pièce en fonction du type de produit utilisé. - Besoin de vérifier la compatibilité des nouveaux nettoyants avec les systèmes de traitement des eaux de rejet.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Élimination des émissions de composés organiques volatiles provenant de l'utilisation de dégraissants halogénés. - Réductions de la charge polluante des effluents résiduels. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Le prix d'achat de certains dégraissants alternatifs peut s'avérer plus élevé (HFE) mais, d'autre part, les coûts de gestion de l'effluent résiduel sont réduits. - Investissement s'il est nécessaire de changer ou de modifier la machine de nettoyage employée jusqu'alors.
Exemple d'application : Une entreprise qui se consacre à la fabrication de pièces métalliques par le biais de la coupe de haute précision a décidé de remplacer le trichloréthylène utilisé pour le dégraissage par un agent de nettoyage non toxique à base aqueuse. La mesure a requis l'installation de deux machines de nettoyage dans lesquelles était incorporé un système de séparation d'huile et de poussière afin de prolonger la vie utile du bain. Cette mesure a permis d'éliminer la consommation de trichloréthylène et la production de boues, avec un investissement d'environ 79 400 €, récupérés en 4,85 ans. (Source : Fiche P+ N n° 56.)	

Observations:

Comme nous l'avons décrit dans le paragraphe 2.10 de ce manuel, on utilise dans les opérations de dégraissage deux types de dégraissants : les dissolvants halogénés et les détergents. Nous décrivons ci-après certaines alternatives dans l'utilisation des dégraissants les plus problématiques inclus dans ces groupes.

Dans le groupe des dissolvants halogénés, les plus problématiques sont les dissolvants chlorés (trichloroéthane, trichloréthylène, etc.) étant donné l'émission de composés organiques volatiles (COV) dans l'atmosphère et la production d'effluents chlorés. Les agents alternatifs identifiés sont des **mélanges à base de p-cymène** et d'**hydrofluoroéthères (HFE)** dont on trouvera les principales caractéristiques sur le tableau suivant.

Tableau 20. Les agents dégraissants alternatifs à l'utilisation de dissolvants chlorés

AGENT DÉGRAISSANT	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS / EXIGENCES
Mélanges à base de p-cymène	<ul style="list-style-type: none"> - Composé d'agents tensioactifs totalement biodégradables. - Non toxique. - N'abîme pas la couche d'ozone et ne porte pas préjudice à l'atmosphère. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lorsque l'on l'utilise par voie humide, il faut faire un essai préalable afin de vérifier que la qualité du produit final n'est pas modifiée. - Requier un équipement automatique d'arrosage par aspersion et le mouvement des pièces afin de favoriser le dégraissage.
Hydrofluoroéthers (HFE)	<ul style="list-style-type: none"> - La pièce obtenue est sèche. - Toxicité peu élevée. - Stabilité thermique et chimique. - Viscosité peu élevée et tension superficielle. - Solubilité dans l'eau peu élevée. - Non inflammable. 	<ul style="list-style-type: none"> - On peut l'acheter avec un équipement de distillation afin de récupérer le liquide résiduaire qui est produit. - Coût élevé par rapport aux dissolvants halogénés, mais amortissement rapide.

Source : Données extraites du *Manual de ecogestió, 6. Prevenció de la contaminació en el sector del tractament de superfícies*, Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, 2002.

D'autre part, dans le groupe de dégraissage chimique par détergents, ceux qui contiennent des dérivés de l'EDTA, du NTA et autres s'avèrent problématiques pour l'environnement car ils forment des complexes avec les métaux qui, par la suite, doivent être séparés et précipités. La libération de ces complexes exige un temps de traitement prolongé qui provoque une augmentation des coûts d'épuration des eaux résiduaires. Par conséquent, une alternative durable à ces agents désinfectants est le **gluconate de sodium** car le complexe métallique qu'il provoque est moins fort, ce qui facilite la précipitation postérieure des métaux.

Finalement, il faut mentionner que dans le cas où il s'avèrerait indispensable d'utiliser des détergents organiques, ce qui doit prévaloir, c'est leur réutilisation à l'aide d'un équipement de récupération du dissolvant à partir d'un distillateur. La mesure permet une économie de 90 % de dissolvant consommé et le même pourcentage de réduction de la production d'effluents halogénés résiduaires.

OPP-12 : Minimisation de l'excès de matériel	
Processus pour lequel on l'applique : Opérations qui provoquent des recoupes et des copeaux (découpe à l'emporte-pièce, filetage, tournage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Matière première rejetée	
Description : Grâce à l'optimisation des dimensions de la matière première initiale, il est possible de minimiser la quantité de matériel excédant sous forme de copeaux, de ferraille et de tournure. Pour cela il est bon d'utiliser un matériel de départ le plus proche possible de la dimension de la pièce finale et dans le cas de la fabrication de pièces vides, il faut partir d'un matériel déjà vide au lieu de le perforer postérieurement. En outre, un calibrage adéquat des presses utilisées dans le processus de découpe des tôles permet aussi de réduire le volume de ferraille produite.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction du temps d'usinage. - Réduction de la consommation de matière première. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Il faut un contrôle plus exhaustif de la qualité de la pièce de départ. - Il faut négocier au préalable avec le fournisseur des pièces pour qu'il fournisse les dimensions souhaitées de la pièce brute.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des résidus métalliques sous forme de copeaux, de ferraille, de copeaux, etc. et de l'impact environnemental qu'ils provoquent, qui augmentera si ce résidu contient du fluide de coupe qui adhère à sa surface. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction du coût de la pièce brute et de la gestion de résidus.
Exemple d'application : Une entreprise d'usinage de métaux, de taille moyenne, a appliqué cette OPP pour le processus de fabrication de bagues pour des passages de câble. La mesure a consisté à acquérir de la matière première (bandes de laiton hexagonales) déjà vide, au lieu des barres solides que l'on utilisait précédemment. L'alternative suppose une réduction de la production de tournure et de la consommation d'énergie ainsi qu'une réduction du temps d'usinage d'environ 20 %. (Source : IHOBE.).	

4.4. Le changement technologique

OPP-13 : Usinage à sec	
Processus pour lequel on l'applique : Opérations d'usinage (fraisage, tournage, filetage, mandrinage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Consommation de fluide de coupe, de fluide de coupe usé, de traînée de fluide de coupe sur les pièces et de tournure, brouillards, fuites et éclaboussures d'huile	
Description : La suppression du fluide de coupe dans les opérations d'usinage permet d'éliminer les impacts environnementaux dérivés de son utilisation. Cette alternative implique l'adoption de mesures adéquates qui assument les fonctions que réalise le fluide de coupe (lubrification, réfrigération du système et traînée de matériel excédant).	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Élimination totale de consommation de fluide de coupe. - Réduction du besoin de nettoyage des pièces en fin de processus d'usinage. - Amélioration de la qualité des résidus métalliques tels que les copeaux et la ferraille étant donné l'absence totale de fluide de coupe dans ces derniers. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Exige une étude préalable pour déterminer l'applicabilité de cette technologie au processus. - Exige le maintien de la stabilité thermique et l'entraînement de tournure du système par le biais de voies alternatives au fluide de coupe. L'action de réfrigération peut se faire par de l'air. - Exige des caractéristiques déterminées des machines telles que les recouvrements multicouches qui réduisent le frottement entre la tournure et la machine. - Limitations dans les processus qui demandent des pièces de grande précision de dimension ou de forme.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Élimination de la production de résidu de fluide de coupe usé. - Amélioration de l'atmosphère de travail par l'élimination de brouillards, de fuites et d'éclaboussures. - Élimination de l'impact environnemental dérivé des opérations de nettoyage des pièces et des résidus métalliques. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Élimination des dépenses en consommation de fluide de coupe, de gestion de résidus et d'opérations de nettoyage et de dégraissage. - Investissement dans des systèmes additionnels afin de maintenir la lubrification, la réfrigération et l'entraînement de tournure du système.

Observations:

Lorsque l'on élimine complètement le fluide de coupe, il faut prendre une série de mesures pour que les autres moyens utilisés réalisent les fonctions d'évacuation de tournure, de lubrification et de réfrigération qu'exercent normalement les fluides de coupe. Ces moyens doivent assurer la stabilité thermique et mécanique de la machine, le respect des standards de qualité et la résistance à l'usure de l'outillage.

En outre, il faut tenir compte du fait que l'usinage à des vitesses de coupe peu élevées favorise l'usure de la machine par adhésion et abrasion, tandis que les températures élevées atteintes dans les grandes vitesses de l'usinage favorisent le processus de diffusion et d'oxydation. Par conséquent, cette alternative requiert que l'on choisisse des machines présentant une faible tendance à adhérer à la pièce et à la tournure, de grande dureté et de résistance à l'usure élevée lorsqu'elle travaille à de hautes températures.

L'usinage à sec est une technique en développement qui demande une analyse détaillée pour évaluer son applicabilité au processus. L'évolution dans le design des matériaux et de l'outillage, tels que les instruments recouverts, permet d'élargir l'éventail de possibilités d'application de cette alternative à

des processus dans lesquels, jusqu'à présent, on considérait qu'il était indispensable d'utiliser un fluide de coupe. C'est le cas, par exemple, des opérations de taille d'engrenages à sec à l'aide d'instruments de carbure où on a même observé une augmentation de la vie utile de l'instrument car le fluide de coupe est responsable de la fatigue thermique qui le détériore.

Outre la taille d'engrenages, il existe des expériences d'usinage à sec dans des processus tels que :

- L'usinage de fonte grise où les pièces provenant de la fonte grise contiennent du graphite qui agit comme lubrifiant. L'outillage utilisé est recouvert de nitrure de titane (TiN) et de titane (Ti).
- L'usinage dur au lieu de la rectification car les instruments en céramique et en nitrure de bore cubique qui sont utilisés ne sont pas favorisés par l'utilisation de fluide de coupe qui provoque des problèmes de fatigue thermique.
- Le brochage d'acier au carbone à l'aide de broches recouvertes qui offre une meilleure qualité superficielle de la pièce.
- L'usinage de l'acier où l'on obtient des résultats positifs à condition de garantir l'évacuation adéquate de tournure ou bien là où l'on n'a pas besoin de tolérances dimensionnelles précises.

OPP-14 : Usinage en utilisant la plus petite quantité possible de lubrifiant (technologie MQL)	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations d'usinage (fraisage, tournage, filetage, mandrinage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : La consommation de fluide de coupe, de fluide de coupe usé, traînée de fluide de coupe sur les pièces et les copeaux, les brouillards et les éclaboussures d'huile	
Description : La consommation de fluide de coupe dans les opérations d'usinage se réduit considérablement grâce à l'application, par gouttes et aérosols, de la plus petite quantité nécessaire, garantissant un niveau adéquat de lubrification. De cette façon, le fluide de coupe ajouté est consommé sans provoquer de résidus, il ne se produit qu'une légère pellicule de ce fluide sur la pièce, ce qui améliore sa gestion et sa manipulation. Il existe trois alternatives différentes pour son application : les systèmes de pulvérisation à basse pression, les systèmes d'injection sans air et les systèmes de pulvérisation à haute pression.	
Avantages : - Réduction de la consommation de fluide de coupe jusqu'à 95 %.	Inconvénients / exigences : - Installation de doseurs spéciaux dans les machines et, parfois, de prises d'air comprimé. - Il faut garantir la stabilité thermique et mécanique de la pièce. - Exige un entretien approprié afin de garantir les conditions adéquates d'approvisionnement.
Résultats environnementaux : - Élimination de résidus de fluide de coupe (le produit appliqué ne s'égoutte pas mais il recouvre d'une fine pellicule les pièces et les copeaux). - Amélioration de l'atmosphère de travail grâce à l'élimination de brouillards, de fuites et d'éclaboussures d'huile. - Élimination de l'impact environnemental dérivé des opérations de nettoyage des pièces et des résidus métalliques car le processus n'a pas besoin de cette opération.	Résultats économiques : - Investissement total variable selon le nombre de points d'application ainsi que le débit et la précision de l'approvisionnement (480 - 1 500 € / unité). - Réduction des dépenses en consommation de fluide de coupe, de gestion de résidus et d'opérations de nettoyage et de dégraissage.
Exemples d'application : Une entreprise d'usinage de moules et de matrices en acier pour injection d'aluminium a remplacé son système d'approvisionnement de fluide de coupe par un autre de dosage de Quantité minimale de lubrifiant (MQL) afin de réduire la consommation de fluide de coupe et la production de résidus. Ils ont installé 8 unités de dosage MQL pour un prix total approximatif de 3 800 €, ce qui a apporté une réduction de 95 % de la consommation de fluide de coupe. L'investissement initial et les coûts annuels additionnels ont été amortis en 3,4 ans. (Source : IHOBE.)	

Observations:

Ci-dessous, nous montrons les différents systèmes pour l'application de cette opportunité de prévention de la pollution. Il faut souligner que les trois techniques exigent la modification des points d'approvisionnement en fluide de coupe des machines par des buses de nébulisation ou des doseurs de précision.

Tableau 21. Les systèmes d'application de la technologie MQL

ALTERNATIVE D'APPLICATION	DESCRIPTION	CARACTÉRISTIQUES	APPLICABILITÉ
Systèmes de pulvérisation à basse pression	Le fluide de coupe est introduit dans un courant d'air à basse pression et il est transmis à la surface de la pièce sous forme de mélange.	<ul style="list-style-type: none"> - Possible formation de brouillards. - Peu de précision du degré du dosage. - Quantité appliquée de 10 - 1 000 ml/h. 	- Fluide de coupe visqueux (aqueux pour la plupart).
Systèmes d'injection sans air	Le fluide de coupe est appliqué sur la surface du métal à travers des bombes de dosage qui n'ont pas besoin d'air pour impulser le fluide.	<ul style="list-style-type: none"> - Absence de formation de brouillards. - Dosage précis. - Quantité appliquée de 0,01 - 1 ml/cycle². 	- D'habitude dans des processus discontinus.
Systèmes de pulvérisation à haute pression	Le fluide de coupe se déplace par le biais d'une pompe jusqu'au filtre, à la buse de dosage où il se mélange à de l'air comprimé et est appliqué sur la pièce.	<ul style="list-style-type: none"> - Formation minimale de brouillards. - Dosage de haute précision. - Quantité appliquée de 10 - 100 ml/h. 	- Différents fluides de coupe : fluide de coupe aqueux, huile de coupe pure ou huiles polaires de nature végétale.

Source : Données extraites du *Libro Blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE, S. A.

² On peut arriver jusqu'à 260 cycles par minute.

OPP-15 : Dépôt centralisé d'approvisionnement de fluide pour la déformation et la coupe de métaux	
Processus pour lequel on l'applique : Opérations qui utilisent des fluides pour favoriser les processus de déformation et de coupe (laminage à froid, tournage, filetage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Consommation de fluide de coupe et de fluide de coupe usé	
Description : Consiste à approvisionner en fluide les différentes machines et les instruments à travers un seul dépôt au lieu d'utiliser des dépôts multiples individuels pour chaque machine, ceci permet de réduire les efforts de contrôle et l'entretien du fluide.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Centralisation et simplification des processus de contrôle et d'entretien du fluide. - La combinaison de cette alternative avec des mesures de contrôle et d'entretien du fluide de coupe permet d'augmenter la vie utile du fluide environ 4 à 6 fois et de réduire les dépenses en gestion de résidus jusqu'à 90 %. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Exige la réalisation d'une étude préalable pour installer un réseau de tuyaux qui canalise le fluide vers tous les processus.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la production de fluide de coupe usé. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Investissement dans l'installation d'un dépôt et d'un système de tuyaux proportionnel au nombre de machines qui utilisent un fluide de coupe. Selon la capacité de stockage de l'installation, cet investissement peut osciller entre 1 500 et 18 000 €. - Réduction des dépenses en consommation et résidus de fluide de coupe.
Exemples d'application : <ol style="list-style-type: none"> A. L'entreprise qui a appliqué l'OPP-5 a conçu une installation centralisée d'approvisionnement de fluide de coupe (investissement de 42 071 €) qui incluait des détecteurs de niveau d'huile pour éviter des écoulements par débordement ou des situations de manque d'huile. La mesure a permis de réduire de 53 % la consommation d'huile, ce qui représente une économie annuelle d'environ 24 000 €. (Source : IHOBE.) B. L'entreprise décrite dans l'OPP-2 et l'OPP-3 a combiné cette alternative (d'un investissement de 16 500 €) avec des mesures d'entretien du fluide de coupe : une unité skimmer (6 000 €) et un système de filtrage (1 500 €). Dans l'ensemble, ils ont obtenu une réduction de la consommation de fluide de coupe d'environ 52 % et de la production totale de résidus d'environ 70 %. Le temps d'amortissement de l'investissement a été de 4,8 ans. (Source : IHOBE.) 	

OPP-16 : Carénage des machines	
Processus pour lequel on l'applique : Opérations d'usinage (tournage, fraisage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Fuites, éclaboussures et brouillards de fluide de coupe, consommation de fluide de coupe	
Description : L'alternative consiste à placer des barrières dans la machine afin d'empêcher les projections de fluide de coupe à l'extérieur de la zone de l'usinage. Le type de carénage varie en fonction de la structure de la machine, on peut utiliser des rideaux, des carénages en plastique ou métalliques et des écrans rigides.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la consommation de fluide de coupe en évitant les pertes par fuites et éclaboussures, dans le cas où il y a recirculation de ce fluide. - Environnement de travail plus propre. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Demande un carénage par machine et une analyse détaillée des machines ainsi que du processus de travail qui va être fait.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la pollution du sol industriel par éclaboussures. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des dépenses en consommation de fluide de coupe (en cas de recirculation) et en opérations de nettoyage. - Coût variable en fonction de la structure et de la complexité du type de carénage.
Exemples d'application : Une entreprise de décolletage pour l'obtention de pièces usinées a installé des écrans rigides de haut rendement sur 9 tours lubrifiés avec de l'huile de coupe. La mesure a supposé un investissement de 13 500 € (outre les dépenses annuelles d'entretien et de financement) et a éliminé complètement les éclaboussures qui représentaient 70 % des pertes annuelles d'huile. L'investissement a été amorti en 2,4 ans. (Source : IHOBE.)	

OPP-17 : Laminage en continu au lieu du laminage en discontinu conventionnel pour l'acier faiblement allié et l'acier allié	
Processus pour lequel on l'applique : Le laminage à froid	
Aspect environnemental affecté : La consommation électrique et d'huile de laminage	
Description : Le laminage à froid en continu permet un contrôle plus efficace de l'épaisseur que l'on veut donner à la bande et de la qualité de sa surface. Cela entraîne une amélioration du rendement du matériel et permet, en outre, d'optimiser la consommation d'huile et d'énergie.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la qualité de la pièce. - Réduction de la consommation d'huile et d'énergie. - Réduction dans la fréquence de renouvellement des rouleaux. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Intéressant dans des installations de haute capacité de production et dans le même type de produit ou bien dans de nouvelles installations ou des installations qui se modernisent. - Modification du train de laminage par un autre qui travaille en continu.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Optimisation de la consommation d'huile et efficacité énergétique de l'équipement. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Investissement dans le nouvel équipement. - Réduction des dépenses par rapport aux consommations antérieures.

OPP-18 : Recuit discontinu 100 % avec hydrogène	
Processus dans lequel on l'applique : L'étape de chauffage du processus de recuit	
Aspect environnemental affecté : La consommation d'énergie	
Description : Dans le recuit du processus de laminage à froid d'acier faiblement allié on utilise en général des fours à hotte qui se caractérisent par un temps de processus élevé et une vitesse de refroidissement peu conseillée pour certaines qualités d'acier. Pendant l'étape de chauffage, l'atmosphère protectrice se compose normalement d'un mélange d'azote et d'hydrogène, avec un contenu en hydrogène proche de la limite de l'inflammation. Au lieu d'utiliser ce type d'atmosphère, celle-ci peut être totalement formée d'hydrogène, on obtient ainsi des temps de recuit inférieurs et des refroidissements plus rapides.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction du temps de recuit. - Diminution du temps nécessaire pour le refroidissement de la pièce. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Changement dans le type d'atmosphère utilisée.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la consommation d'énergie (de 700 MJ/t pour le recuit dans une atmosphère de H₂/N₂ à 422 MJ/t avec une atmosphère 100 % hydrogène). 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des dépenses par rapport à la consommation antérieure.

OPP-19 : Utilisation de brûleurs à faible niveau de NO_x pour la réduction des émissions de NO_x dans les fours de recuit	
Processus pour lequel on l'applique : L'étape de chauffage des processus thermiques	
Aspect environnemental affecté : Émission atmosphérique de NO _x	
Description : Il existe des brûleurs qui, par la réduction de la température maximale de la flamme, le temps passé dans la zone de haute température ou la disponibilité d'oxygène dans la zone de combustion, permettent de diminuer les niveaux d'émission de NO _x d'un four conventionnel. Pour y parvenir, les brûleurs sont dessinés de manière à ce qu'on puisse graduer la concentration d'air et de combustible et/ou qui permettent la recirculation interne des gaz de combustion.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des émissions de NO_x de 60 %. - Réduction des émissions de CO de 87 %. - Entretien du niveau de consommation de combustible. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Les émissions de NO_x dépendent de plusieurs paramètres (design du four, type de combustible, température de chauffe, fonctionnement et entretien du four) que l'on doit envisager pour optimiser l'efficacité des brûleurs à faible niveau de NO_x.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des émissions gazeuses et donc de la pollution atmosphérique. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Dépenses pour le remplacement des brûleurs du four.

Observations :

Le tableau ci-dessous montre les différents niveaux d'émission de NO₂ et de CO que l'on peut obtenir par le biais de l'application de brûleurs à niveau de NO_x peu élevé dans des fours de recuit continus et discontinus.

Tableau 22. Les niveaux d'émission obtenus avec des brûleurs à niveau de NO_x peu élevé

FOURS DE RECUIR DISCONTINUS			
	Concentration (mg/m³)	Émission (Kg/t produit)	Réduction (%)
NO ₂	150 - 380	25 - 110 E-02	60
CO	40 - 100	15 - 40 E-03	87

FOURS DE RECUIR CONTINUS			
	Concentration (mg/m³)	Émission (Kg/t produit)	Réduction (%)
NO ₂	400 - 650	0,14 - 0,22	60
CO	50 - 120	0,08 - 0,2	87

Source : Données extraites du Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Férricos.

4.5. Le recyclage à la source

Les alternatives de recyclage à la source consistent à réutiliser un courant résiduaire dans le centre productif même où il se produit, dans le même processus ou dans un processus différent.

OPP-20 : Réutilisation des gaz résiduaires pour le préchauffage de l'air de combustion dans les fours de recuit	
Processus dans lequel on l'applique : L'étape de chauffe des processus thermiques	
Aspect environnemental affecté : Consommation d'énergie	
Description : L'une des alternatives pour améliorer le rendement thermique des fours consiste à réutiliser les gaz d'échappement pour préchauffer l'air de combustion. On parvient à cela selon deux types de systèmes : les systèmes avec brûleurs régénératifs et les systèmes avec brûleurs récupérateurs.	
Avantages : - Réduction de la consommation d'énergie.	Inconvénients / exigences : - Possible augmentation du niveau d'émissions de NO _x (valeur moyenne de 350 mg/Nm ³ pour des brûleurs régénératifs, qui est compensée par la consommation moindre d'énergie et la réduction du débit de gaz résiduaires). - Sensibilité à la poussière des brûleurs régénératifs.
Résultats environnementaux : - Réduction du volume total de gaz de combustion (la consommation énergétique moindre affecte positivement l'émission de SO ₂ et de CO ₂).	Résultats économiques : - Dépense pour l'investissement dans la modification du four pour appliquer le système.
Exemples d'application : Une entreprise a réalisé des modifications dans son four de recuit pour bandes d'acier inoxydable en l'équipant d'une paire de brûleurs régénératifs et d'un brûleur autorécupérateur. La mesure a supposé une réduction de la consommation d'énergie primaire de 50,6 %, avec une période d'amortissement de 5,5 ans. Il faut souligner qu'avec cette mesure, le temps d'amortissement dépend considérablement des dépenses d'énergie, ce qui fait que l'on peut bénéficier de temps d'amortissement inférieurs. (Source : BREF Métaux ferreux.)	

Observations :

Les systèmes de brûleurs régénératifs utilisent deux ensembles d'échangeurs de chaleur : alors que l'un des brûleurs fonctionne en mode de combustion, le régénérateur de l'autre brûleur se chauffe par contact direct avec le gaz d'échappement. Régulièrement les flux changent pour inverser le processus. Le design des brûleurs régénératifs est plus compact et donc mieux adapté à de petits fours et dans le cas où il y a des problèmes d'espace.

Les brûleurs récupérateurs consistent en un échangeur de chaleur placé à la sortie des gaz d'échappement afin de permettre le transfert continu de chaleur à l'air de combustion qui entre à travers la surface de chauffe.

Le tableau ci-dessous reprend les principales caractéristiques de chaque système.

Tableau 23. Les principales caractéristiques des brûleurs régénératifs et récupérateurs

	TEMP. DE PRÉCHAUFFAGE QUE L'ON PEUT ATTEINDRE *	EFFICACITÉ THERMIQUE DU FOUR	ÉCONOMIE DE COMBUSTIBLE	OBSERVATIONS
BRÛLEURS RÉGÉNÉRATIFS	> 600° C (jusqu'à 1 100 et 1 300° C)	~ 80 %	~ 60 %	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisé pour hautes températures de gaz résiduaire. - Adaptés aux processus en discontinu parce que ces derniers n'incluent pas de zone de préchauffage. - Selon la température de préchauffage les émissions de NO_x peuvent atteindre 3 000 mg/m³.
BRÛLEURS RÉCUPÉRATIFS	550 - 620° C	~ 65 %	Non disponible	
* Les températures de préchauffage dépendent de la température d'entrée du gaz résiduaire et de la température du processus				

Source : Données extraites du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos.*

OPP-21 : Réintroduction dans le système du fluide de coupe provenant de l'égouttage des pièces et des copeaux	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations qui utilisent des fluides de coupe (tournage, fraisage, filetage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Consommation de fluide de coupe, traînée de fluide de coupe sur les pièces et les copeaux	
Description : L'alternative consiste à récupérer le fluide de coupe qui provient de l'égouttage de pièces et des copeaux, par exemple à l'aide de plateaux, pour le réintroduire dans le circuit d'approvisionnement à travers un système de pompes et de tuyauteries. Cette mesure est favorisée par l'augmentation du temps d'égouttage.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la consommation de fluide de coupe. - Réduction du besoin de dégraissage et de nettoyage des pièces. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Entretien de la pompe en ce qui concerne la corrosion ou la réaction chimique avec le fluide de coupe.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la quantité de résidus de fluide de coupe produit. - Réduction de l'impact dérivé de la traînée de fluide de coupe sur les pièces et les copeaux. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Investissement pour l'installation d'un système de pompes et de tuyauteries pour faire recirculer le fluide. - Réduction des dépenses en consommation de fluide de coupe, en gestion du résidu et en nettoyage et dégraissage.
Exemples d'application : <p>A. Une entreprise de fabrication de pièces et de composants pour l'industrie de l'automobile a appliqué cette mesure afin de récupérer l'huile de coupe qui s'égouttait du container dans lequel on déposait les copeaux. L'investissement initial de 15 000 € qui incluait des travaux civils pour la construction d'un dépôt et les dépenses en énergie et en entretien a été amorti en 11 mois car la mesure a supposé une réduction d'environ 60 % de la consommation d'huile de coupe et de 33 % des dépenses en gestion de résidus. (Source : COMESA.)</p> <p>B. L'entreprise décrite dans l'OPP-16 a installé des plateaux pour recueillir le fluide de coupe aqueux provenant de l'égouttage des pièces. La mesure a supposé un investissement de 3 060 € pour l'installation de 17 plateaux obtenant ainsi une réduction annuelle de dépenses en consommation de fluide de coupe et en nettoyage du sol industriel de 1 188 €. La période d'amortissement de la mesure dans ce cas concret a été de 3,4 ans. (Source : IHOBE.)</p>	

OPP-22 : Nettoyage et réutilisation des fluides de coupe utilisés dans les processus de déformation et de coupe de métaux	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations qui utilisent des fluides pour la déformation et la coupe de métaux (laminage à froid, tournage, filetage, etc.)	
Aspect environnemental : Consommation de fluide et résidu produit	
Description : Pendant le processus, les fluides utilisés dans les opérations de déformation et d'usinage sont pollués par des éléments étrangers, qu'ils soient solides (boues, copeaux, poussière et particules de l'atmosphère) ou liquides (huiles hydrauliques, huile de guides et huiles de lubrification). À mesure que la présence de ces particules augmente, le fluide perd sa qualité, il se produit des erreurs dans le processus. Pour éviter cela, il existe une grande diversité d'équipements et de systèmes destinés à un entretien correct du fluide, de manière que celui-ci puisse être réintroduit dans le processus. Cependant, il est bon d'extraire régulièrement une partie du débit pour que le fluide maintienne ses propriétés.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la qualité du fluide et, par conséquent, augmentation de sa vie utile. - Augmentation de la vie utile des instruments. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Installation d'un équipement d'entretien dans l'entreprise.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la fréquence de production de fluide de coupe usé. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Investissement variable selon le rendement et la capacité de traitement de l'équipement. - Réduction des dépenses en consommation de fluide et en gestion de résidus.
Exemples d'application : <ul style="list-style-type: none"> A. Une entreprise d'usinage de grandes pièces d'aluminium du secteur de l'automobile a acquis deux équipements auxiliaires de séparation d'huile de type skimmer coûtant 3 600 €³ chacun. La mesure a représenté une augmentation de la vie utile du fluide de coupe de 2 mois additionnels, de manière que la consommation de fluide de coupe a été réduite d'environ 25 % et la quantité de résidus produits annuellement de 56 % (les données se rapportent à deux lignes de production). (Source : IHOBE.) B. L'entreprise décrite dans les OPP-5 et OPP-15 (exemple A) a acheté deux installations fixes de filtrage d'huile et une troisième unité mobile de filtration, ce qui a supposé un investissement de 12 621 €. La mesure a entraîné l'optimisation de la vie des lubrifiants et la réduction de plus de 70 % de la production d'huile usée et de boues huileuses. (Source : IHOBE.) 	

Observations:

Comme nous l'avons exposé précédemment, il existe une diversité d'équipements pour l'élimination de particules étrangères au fluide usé qui prolongent sa vie utile. Le tableau ci-dessous montre ces équipements, groupés en fonction du type de particules qu'ils sont capables d'éliminer. Le choix de l'un ou de l'autre système dépend des conditions techniques et économiques et du degré de nettoyage que l'on souhaite atteindre.

³ Il existe sur le marché des équipements skimmer d'un prix inférieur à celui de l'exemple.

Tableau 24. Les équipements pour l'entretien de fluides de coupe et des émulsions de laminage

ÉQUIPEMENTS POUR LA SÉPARATION DE L'HUILE					
ÉQUIPEMENT	CARACTÉRISTIQUES	EFFICACITÉ / APPLICABILITÉ	PM ¹	INV ²	PA ³
Skimmer / Racleur superficiel	On l'utilise pour éliminer l'huile qui flotte à la surface du fluide de coupe à l'aide d'un élément mécanique qui effectue un balayage superficiel. Il existe différentes variantes de cet équipement : à bande, à disque, à tube flexible, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - C'est un équipement à efficacité limitée car son efficacité dépend de la flottabilité et de la miscibilité de l'huile présente dans le fluide de coupe. - L'efficacité augmente si l'on travaille au repos car les huiles stagnent à la surface. Pour cela la machine doit être à l'arrêt ou bien on doit installer un type d'écran sur les machines qui fonctionnent en continu et créer ainsi une zone de basse agitation. 	Moyen	Moyen - Faible	Courte
Séparateur de coalescent	On les utilise pour séparer en continu l'huile non émulsionnée, en les installant en ligne ou en by-pass. L'équipement comprend une cellule formée de composants de forme alvéolaire qui provoque la coalescence des petites particules de l'huile jusqu'à obtenir une particule d'une taille suffisamment grande pour être séparée à l'aide d'une valve.	<ul style="list-style-type: none"> - Offre une grande efficacité. Rendement de l'équipement d'environ 99 %. - Bon pour des huiles non émulsionnées. 	Moyen	Moyen	Courte
Séparateurs centrifuges à deux phases	Ils consistent à appliquer une force centrifuge qui provoque la séparation de l'huile. Le rendement des équipements est optimisé si on les dispose en by-pass ou en dépôts centralisés d'approvisionnement.	<ul style="list-style-type: none"> - Rendement élevé. 	Élevé	Élevé-Moyen	Moyenne - Courte

ÉQUIPEMENTS POUR LA SÉPARATION DE SOLIDES					
ÉQUIPEMENT	CARACTÉRISTIQUES	EFFICACITÉ / APPLICABILITÉ	PM ¹	INV ²	PA ³
Dépôt de décantation	Consiste à décanter naturellement des particules solides du fluide de coupe après un temps déterminé de repos. Le fond est dessiné pour que les boues puissent être facilement extraites ou bien il dispose de balayeurs de fond.	- Ne possède pas une efficacité élevée (sépare les grosses particules) mais c'est un mécanisme d'application simple et qui requiert peu d'exigences.	Moyen - Élevé	Faible	Courte
Hydrocyclones	Ce sont des séparateurs centrifuges qui forcent la séparation et la décantation des particules. La séparation dépend de la taille de ces particules, ce qui fait qu'il est parfois nécessaire d'appliquer des filtres additionnels.	- Séparation de 95 à 98 % des particules sphériques supérieures à 5 - 20 µm d'une densité égale ou supérieure à l'acier. - Sont plus efficaces pour les fluides de coupe visqueux.	Moyen - Élevé	Moyen	Moyenne - Courte
Séparateurs magnétiques	À l'aide d'un champ magnétique, ces équipements extraient les copeaux et les boues ferromagnétiques de petite taille qui sont retenus à la surface d'un rouleau magnétique.	- Séparation de particules de 100 à 300 µm, sauf celles de métal non ferreux. - Bon pour de petits débits d'émulsions, de solutions synthétiques ou d'huiles à basse viscosité.	Faible-Élevé ⁴	Moyen	Longue - Courte
Filtres à bande	Ils sont normalement en papier et la dimension du pore varie en fonction de la taille minimale de particules à séparer. Ils peuvent fonctionner grâce à différents systèmes : la gravité, la pression négative, la surpression, etc. Leur utilisation provoque des résidus du milieu de filtrage à moins que ce dernier ne soit réutilisable.		Élevé	Moyen	Courte
Filtre de sable lavable	Ces filtres requièrent un entretien exhaustif pour pouvoir conserver la propreté du milieu filtrant.	- Possibilité d'obtenir des précisions d'un micron.	Moyen - Élevé	Élevé - Moyen	Moyenne

ÉQUIPEMENTS POUR LA SÉPARATION CONJOINTE DE SOLIDES ET D'HUILES					
ÉQUIPEMENT	CARACTÉRISTIQUES	EFFICACITÉ / APPLICABILITÉ	PM ¹	INV ²	PA ³
Installations de flottaison	Elles consistent à injecter des bulles d'air dans le fluide de coupe afin de favoriser l'entraînement vers la surface des particules solides et de l'huile, elles en sont retirées à l'aide d'un balayeur. On les trouve aussi bien en tant qu'unité fixe que mobile.	- Son utilisation est limitée par la taille des particules à séparer.	Moyen - Élevé	Moyen - Faible	Moyenne
Clarifiant de paillettes	Le flux est correctement gradué afin de séparer les particules solides et l'huile qui flottent à la surface.	- Son efficacité est conditionnée par le degré de régulation.	Moyen	Moyen	Moyenne
Centrifugeuses à trois phases	C'est le même système que la centrifugeuse à deux phases en y ajoutant une troisième phase qui sépare les particules solides. C'est un équipement complexe.	- Son efficacité est la plus élevée de toutes les alternatives exposées.	Élevé	Élevé - moyen	Moyenne - Courte
¹ PM → POTENTIEL DE MINIMISATION : ÉLEVÉ (> 50 %), MOYEN (50 % > X > 5 %), FAIBLE (< 5%) ² INV → INVESTISSEMENT : ÉLEVÉ (> 12 000 €), MOYEN (3 000 à 12 000 €), FAIBLE (< 3 000 €) ³ PA → PÉRIODE D'AMORTISSEMENT : LONGUE (> 5 ans), MOYENNE (2 - 5 ans), COURTE (< 2 ans) ⁴ cela dépend de la nature physique des copeaux et/ou des boues					

Source : Données extraites du *Libro Blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE S. A.; de la *Base de dades de tecnologies. Sector metal.lúrgic*, CEMA S. A. et de plusieurs publications sur les technologies du secteur de l'usinage du métal.

OPP-23 : Nettoyage et réutilisation de la solution dégraissante alcaline	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations de dégraissage	
Aspect environnemental affecté : Eaux résiduelles du processus de dégraissage	
<p>Description : Les bains alcalins utilisés dans les opérations de dégraissage sont peu à peu pollués d'huile et d'autres impuretés jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible de les utiliser. Pour prolonger la vie utile du bain, on peut appliquer différentes mesures de nettoyage basées sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ des équipements mécaniques (séparateurs gravitaires, dérivation du liquide superficiel, skimmer, hydrocyclones) ▪ des séparateurs magnétiques ▪ la microfiltration et l'ultrafiltration (séparation avec des membranes) ▪ l'absorption de surfactants et d'huile (précipitation suivie de filtrage) <p>De cette façon, l'huile séparée est régulièrement retirée et l'eau sans huile est mise en recirculation dans le bain de dégraissage.</p>	
<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la vie utile du bain : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Équipements mécaniques par gravité → entre 2 et 4 fois ▪ Hydrocyclones → jusqu'à 16 fois ▪ Microfiltration et ultrafiltration → jusqu'à 20 fois - Diminution de la consommation de la nouvelle solution dégraissante. 	<p>Disadvantages / prerequisites:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Requires installation of appropriate equipment.
<p>Résultats environnementaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la fréquence d'émission des effluents liquides résiduels provenant du dégraissage. 	<p>Résultats économiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Investissement dans l'équipement pour le nettoyage des bains. - Réduction des dépenses en consommation de nouvelles solutions de dégraissage et d'eau ainsi qu'en gestion des effluents liquides résiduels.

Observations:

Nous montrons ci-dessous les données opérationnelles d'entrée et de sortie de la solution de dégraissage pour une ligne de recuit en continu par le biais du nettoyage par ultrafiltration.

Tableau 25. Les niveaux de consommation et d'émissions dans le nettoyage d'un bain dégraissant par ultrafiltration

ENTRÉE	
Solution dégraissante	50 - 60 kg/t
Eau déminéralisée	0,3 - 0,4 kg/t
Dégraissant	0,04 - 0,05 kg/t
Énergie électrique	4 - 5 MJ/t
SORTIE	
Solution dégraissante propre	40 - 50 kg/t
Boues	0,4 - 0,5 kg/t

Source : Données extraites du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

Le tableau ci-dessous reprend les données opérationnelles de la solution de dégraissage régénérée à l'aide d'ultrafiltration dans le processus précédent.

Tableau 26. Les caractéristiques d'un bain dégraissant régénéré par ultrafiltration

	Concentration (mg/l)	Émission spécifique (g/t produit)	Indice de réduction (%)
Solides en suspension	20 - 40	2,35 - 4,7·E-4	> 90
Hydrocarbures (huile, graisse)	5 - 8	5.9 - 9.4·E-5	> 90
Fer total	1 - 2	1.2 - 2·E-5	> 90
Température	30°C		
pH	6,5 - 9,5		

Source : Données extraites du *Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

OPP-24 : Utilisation de matériel filtrant réutilisable	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations qui utilisent des fluides de coupe (tournage) et/ou des solutions de dégraissage (laminage à froid)	
Aspect environnemental affecté : Résidus de filtres	
Description : L'utilisation de filtres pour prolonger la qualité des fluides de coupe et les solutions de dégraissage produit un résidu qui est le filtre lui-même. Afin de minimiser ce résidu, il est bon de sélectionner les techniques qui permettent l'utilisation de matériel filtrant à usage multiple. Il existe la possibilité de remplacer le système de filtrage par un autre qui utilise des filtres à usage illimité, qui ont besoin d'un nettoyage régulier. Une autre alternative sont les filtres à cartouche, adaptables à la plupart des systèmes de filtrage, qui peuvent être utilisés plusieurs fois, ce qui réduit ainsi la production de résidus. Le choix de l'un de ces systèmes dépend du type de fluide, de la qualité du filtrage et de la topologie du matériel à retenir.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la vie utile des filtres de 1 à 6 mois / Disparition de la consommation de filtres. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Requiert le remplacement ou l'adaptation des nouveaux systèmes de filtrage. - Requiert le nettoyage et l'entretien du filtre.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction / élimination des résidus des filtres imprégnés de fluide de coupe. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des dépenses dérivées de la consommation et de la gestion de résidus antérieurs. - Probabilité de modification de l'équipement original peu élevée car, normalement, les systèmes de filtrage peuvent travailler avec des filtres réutilisables.
Exemples d'application : L'entreprise citée dans l'OPP-22 (exemple A) utilisait un système de filtrage du fluide de coupe qui était composés de rouleaux de papier filtrant jetable. Le système a été remplacé par un autre utilisant des filtres en fibres tissées à usage multiple, éliminant ainsi les résidus de matériel filtrant jetable qui supposaient une dépense annuelle de 587 € et la consommation de ce matériel (5 410 € annuels pour l'achat de papier filtrant). Le montant total de l'équipement de filtrage pour deux dépôts individuels d'approvisionnement de fluide de coupe et un autre centralisé s'est élevé à environ 7 000 € qui ont été amortis en 1,3 ans. (Source : IHOBE.)	

OPP-25 : Implantation d'équipements auxiliaires de séparation de fluide de coupe des pièces et des copeaux	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations d'usinage (fraisage, tournage, filetage, etc.)	
Aspect environnemental affecté : Trainée de fluide de coupe sur les pièces et les copeaux, consommation de fluide de coupe	
Description : Au cours des processus de façonnage métallique avec du fluide de coupe, une partie de ce dernier se perd car il adhère à la superficie des pièces et des copeaux. Pour améliorer la qualité des pièces et récupérer une partie du fluide, on peut acheter des équipements auxiliaires qui permettent de retirer le fluide adhérent à la surface métallique. Il existe différentes alternatives telles que des équipements vibratoires, des souffleries, des séparateurs centrifugeurs et des appareils de briquetage et de compactage.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des traînées d'environ 50 % en moyenne, bien que selon la méthode utilisée on puisse arriver à 90 %. - Meilleures conditions de manipulation des pièces et des copeaux. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Acquisition d'un équipement pour séparer le fluide de coupe des pièces et des copeaux. - Possible augmentation du temps de fabrication par l'introduction d'une nouvelle démarche dans le processus. - Plus grande efficacité de l'équipement du fait de la diminution de la taille de la pièce ou des copeaux. Les copeaux peuvent être triturés au préalable pour faciliter l'élimination d'huile.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction des impacts environnementaux dérivés de la manipulation des pièces et des copeaux imprégnés de fluide de coupe. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Investissement dans l'équipement (celui pour des équipements vibratoires et des séparateurs centrifuges sont généralement supérieurs). - Réduction des dépenses dans les opérations de nettoyage et de dégraissage.
Exemples d'application : <p>A. L'entreprise décrite dans l'OPP-21 (exemple A) a installé des plateaux et des centrifugeuses dans les trois machines de coupe afin de récupérer l'huile de coupe entraînée par les pièces. L'investissement initial de 5 500 € a été récupéré en 1,2 an, en réduisant la consommation d'huile de coupe de 37 % environ et les dépenses du lavage des pièces d'environ 90 %. (Source : COMESA.)</p> <p>B. La même entreprise qu'au paragraphe A a installé une presse pour récupérer l'huile de coupe retenue dans les filtres jetables du processus de rectification. Cette mesure a supposé une réduction de 50 % de la consommation d'huile et de 90 % des dépenses en traitement de résidus. L'investissement initial de 11 500 € a été récupéré en trois mois. (Source : COMESA.)</p>	

Observations :

Nous montrons ci-dessous un tableau qui évalue les principaux aspects économiques et environnementaux de ces équipements.

Tableau 27. Les caractéristiques des équipements auxiliaires de séparation de fluide de coupe des pièces et des copeaux

	PM ¹	INV ²	PA ³
Équipements vibratoires	Moyen	Élevé - Moyen	Moyenne - Courte
Souffleries	Élevé	Faible	Courte
Séparateurs centrifuges	Élevé	Élevé - Moyen	Moyenne- Courte
Appareils de briquetage / de compactage	Élevé	Moyen - Faible	Moyenne - Courte
¹ PM → POTENTIEL DE MINIMISATION : ÉLEVÉ (> 50 %), MOYEN (50 % > X > 5 %), FAIBLE (< 5%) ² INV → INVESTISSEMENT : ÉLEVÉ (> 12 000 €), MOYEN (3 000 - 12 000 €), FAIBLE (< 3 000 €) ³ PA → PÉRIODE D'AMORTISSEMENT : LONGUE (> 5 ans), MOYENNE (2 - 5 ans), COURTE (< 2 ans)			

Source : Données extraites du *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del metal*, IHOBE S.A.

En général les équipements sont applicables aussi bien aux grandes qu'aux petites pièces et copeaux. L'efficacité des souffleries dépend cependant de la géométrie de la pièce ou de la tournure car les vecteurs d'air appliqués n'atteignent pas facilement des pièces à morphologie complexe ou possédant des volumes intérieurs.

4.6. Le traitement final

Les alternatives de traitement final agissent sur le courant résiduaire une fois qu'il a été produit, en général dans l'entreprise où a lieu le processus, dans le but de conditionner l'effluent résiduaire pour son déversement.

OPP-26 : Implantation d'équipements auxiliaires d'extraction de brouillards et autres émissions environnementales	
Processus dans lequel on l'applique : Opérations d'usinage, laminage à froid, tréfilage à froid, revenu, dégraissage, trempe dans de l'huile	
Aspect environnemental affecté : Brouillards d'huile et autres émissions	
Description: La mesure consiste à installer des systèmes d'extraction et d'épuration de brouillards d'huile et autres émissions dans l'atmosphère afin d'éviter leur dispersion dans le milieu de travail. Si la machine est fermée, l'équipement peut être directement accouplé à l'aide d'aspirateurs et dans des machines ouvertes ou à demi-ouvertes, il sera accouplé à travers des bras d'extraction articulés ou des hottes d'extraction fixes. En fonction de la composition des émissions à traiter, on utilise différents systèmes d'épuration : des filtres, des éliminateurs mécaniques, des cyclones, des précipitateurs électrostatiques et des appareils à laver le gaz avec de l'eau recyclée dans le cas des bains de dégraissage.	
Avantages : <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la qualité du milieu de travail. - Efficacité à 90 % de la captation des émissions, qui peut être meilleure encore. 	Inconvénients / exigences : <ul style="list-style-type: none"> - Acquisition de l'équipement adéquat. - Possibilité de devoir déplacer la machine-outil à cause de la difficulté à placer les prises de captation de l'air dans les foyers d'émission.
Résultats environnementaux : <ul style="list-style-type: none"> - Réduction de l'impact environnemental des émissions atmosphériques. - La pollution est retenue dans les systèmes d'épuration (filtres, etc.) qui, par la suite, doivent être correctement gérés. 	Résultats économiques : <ul style="list-style-type: none"> - Investissement variable en fonction du nombre de points critiques dans le processus.

Observations :

Nous montrons ci-dessous un tableau qui reprend les principales caractéristiques de quelques-uns des équipements d'extraction de brouillards d'huile et autres émissions.

Tableau 28. Les caractéristiques des équipements d'extraction de brouillards d'huile et autres émissions environnementales

ÉQUIPEMENT	APPLICABILITÉ	EFFICACITÉ	TAILLE DES PARTICULES	COÛT APPROXIMATIF DE L'INVESTISSEMENT (€/m ³ /h)	OBSERVATIONS
Précipitateur électrostatique avec électrofiltre	Brouillards d'huile, émissions des fours, poussière	95 %	5 - 10 µm	6 - 30	Non applicable aux huiles et gaz à point d'inflammation bas ou risque d'explosion
Épurateur de gaz	Vapeurs des bains de dégraissage, particules et polluants des émissions des fours	95 - 99 %	> 0,5 µm	4,8 - 7,2	On transfère la pollution à un liquide qui devra être traité
Filtre à manche	Poussière et composés métalliques	95 - 99 %	> 0,1 µm	1,5*	Indiqués pour gaz à bas niveau d'humidité
Cyclone	Brouillards d'huile, poussière	65 - 99 %	5 - 10 µm	0,18 - 0,24	Équipement simple et économique et qui requiert peu d'entretien

* Cas concret appliqué dans une entreprise

Source : Données extraites de la *Banque de données de technologies. Secteur métallurgique*, CEMA, S. A.

Nous montrons ci-dessous les résultats de l'élimination obtenue à l'aide de la séparation de vapeurs d'émulsion dans des trains de laminage en utilisant un séparateur composé d'un filtre de gouttelettes de tissu d'acier.

Tableau 29. Les niveaux d'émission dans la séparation de vapeurs d'émulsion à l'aide de séparateurs de gouttelettes de tissu d'acier

	Laminoir réversible pour acier faiblement allié	Laminoir réversible pour acier fortement allié		
Volume (m ³ /t)	175 - 850	300 - 12.000		
Consommation d'énergie (MJ/t)	12 - 13	No disponible		
Niveaux d'émissions				
Polluant	Poussière ¹	HC ²	HC ²	Huile
Concentration (mg/m ³)	10 - 50	5 - 20	10 - 12	10 - 20
Émission spécifique (g/t)	96	7	8,4 - 10,1	50 - 80
Indice de réduction (%)	> 90	> 90	> 90	Non disponible

1 Méthode d'analyse EPA
2 Comme carbone organique méthode d'analyse Umwelt-BA EM-K1, EPA S 008

Source : Données extraites du *Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Férricos*.

OPP-27: Traitement de fluides de déformation et de coupe ou bains de dégraissage usés

Processus dans lequel on l'applique : Opérations qui utilisent des fluides de façonnage (laminage à froid, emboutissage, tournage, etc.) et les opérations de dégraissage

Aspect environnemental affecté : Effluents liquides résiduels

Description : Bien que l'on applique des mesures de nettoyage afin d'allonger la vie utile des émulsions de fluide de coupe et des bains de dégraissage, une partie du débit doit être rejetée afin de maintenir la qualité du processus. La fraction rejetée est polluante à cause de son contenu en huiles et autres composés (métaux, chlorure, sulfures), c'est pourquoi elle doit être traitée avant son évacuation. Ce traitement consiste principalement à séparer la phase aqueuse de la phase huileuse, ce qui permet d'obtenir ainsi une eau à charge polluante moindre. Dans le cas d'émulsions, l'eau obtenue du traitement peut être évacuée ou, selon sa qualité, remise en circulation dans le processus. Mais dans le cas des bains de dégraissage, la fraction aqueuse séparée requiert un traitement postérieur avant d'être évacuée (par exemple, de neutralisation). La boue est employée dans la fabrication d'asphaltes et de ciments. S'il s'agit d'un résidu huileux, on peut régénérer ses huiles ou le mettre en valeur par incinération.

Avantages :

- Réduction de la charge polluante des effluents liquides résiduels.

Inconvénients / exigences :

- Installation d'équipements adéquats pour le traitement.
- Production de boues huileuses.

Résultats environnementaux :

- Réduction de l'impact environnemental dérivé de l'effluent liquide résiduel.

Résultats économiques :

- Investissement dans le système de traitement.

Exemples d'application : L'entreprise décrite dans l'OPP-21 (exemple A) et l'OPP-25 a installé un évaporateur pour traiter l'eau provenant des fluides de coupe aqueux usés, des bains de lavage usés des pièces et des effluents liquides de nettoyage, tous ayant été au préalable filtrés. L'eau ainsi obtenue est réutilisée dans le processus auxiliaire de nettoyage des sols, ce qui suppose une réduction de 81 % de la consommation d'eau et une diminution de 95 % des dépenses dans la gestion de résidus. L'investissement initial de 82 078,9 € et les dépenses énergétiques et d'entretien annuelles ont été récupérés en 7 mois. (Source: COMESA)

Observations:

Il existe différents systèmes pour le traitement des émulsions de fluide de coupe consommés et des bains de dégraissage. Nous décrivons brièvement ci-dessous les traitements disponibles ainsi que les avantages et les inconvénients de chacun d'entre eux.

Tableau 30. Le traitement des fluides de déformation et de coupe / bains de dégraissage consommé

TECHNIQUE	DESCRIPTION	AVANTAGES / APPLICABILITÉ	INCONVÉNIENTS
Évaporation / Distillation	Processus grâce auquel on chauffe l'émulsion provoquant ainsi l'évaporation de l'eau et créant un concentré d'huile qui est extrait séparément. Grâce à la condensation de l'air produit, on récupère l'eau qui peut être utilisée postérieurement. L'huile concentrée est refroidie afin de favoriser l'élimination de son contenu en eau qui est encore présent.	<ul style="list-style-type: none"> - Une concentration d'huile de 5 à 7 %, peut se réduire à un concentré avec un contenu d'huile de 90 % et 10 % d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation d'énergie élevée. - Demande un traitement d'air résiduel.
Traitement chimique avec des acides ou des sels de fer ou d'aluminium	Addition d'acides, de sels de fer ou d'aluminium ou de polyélectrolytes qui déstabilisent l'émulsion d'huile en neutralisant la charge des particules colloïdales.	<ul style="list-style-type: none"> - Applicable en tant que post-traitement dans les processus combinés si la quantité d'huile résiduelle à éliminer est réduite. 	<ul style="list-style-type: none"> - Produit des boues de neutralisation avec de l'huile. - Pollue l'eau résiduelle avec du sel.
Traitement chimique avec des polyélectrolytes		<ul style="list-style-type: none"> - Applicable en tant que prétraitement dans les processus combinés pour des émulsions possédant un contenu d'huile émulsifiée élevée. 	<ul style="list-style-type: none"> - Produit une boue huileuse.
Flottaison	Processus de séparation par gravité en profitant de la différence de densité des deux milieux à séparer. L'huile est récupérée mécaniquement à la surface et l'addition de bulles de gaz permet de recueillir, en outre, les flocons d'huile les plus lourds. Au préalable, on ajoute des acides, des flocculants et des polyélectrolytes pour produire la rupture chimique de l'émulsion.	<ul style="list-style-type: none"> - Les solides additionnels n'apparaissent pas dans la boue de flottaison si on utilise des électrolytes pour séparer les émulsions. 	<ul style="list-style-type: none"> - Produit des solides additionnels dans la boue de flottaison si on utilise des acides / sels.
Absorption	Les particules d'huile adhèrent à la surface d'un absorbant qui consiste en un lit fixe de solides (charbon actif), de solides en poussière (charbon actif) ou de flocons semi-solides distribués dans le liquide (hydroxyde de fer). La poussière ou les flocons doivent en suite être séparés du liquide par sédimentation, flottaison ou filtrage.	<ul style="list-style-type: none"> - Les absorbants du lit fixe et les absorbants en poudre sont applicables lorsqu'il y a de basses concentrations d'huile et évitent ainsi l'épuisement rapide de l'absorbant. 	<ul style="list-style-type: none"> - Produit un résidu composé d'absorbant pollué qui est traité comme une boue. - Consomme des agents chimiques. - Produit des quantités de boue résiduelle avec de l'huile.
Séparation électrolytique	Dissolution d'anodes d'aluminium qui fixe l'huile en formant des flocons de boue qui flottent à la surface. Pour améliorer l'effet de séparation on peut ajouter du polyélectrolyte.		<ul style="list-style-type: none"> - On n'obtient pas d'huile apte à être utilisée.
Ultrafiltration	Séparation mécanique des huiles et des savons à l'aide de filtres de membranes. L'eau ainsi obtenue s'appelle perméat et l'eau retenue : concentré.	<ul style="list-style-type: none"> - Applicable à des émulsions à basse concentration d'huile (< 2 %). - Efficacité moyenne de séparation de 40 l/h par m² de surface de filtre. 	<ul style="list-style-type: none"> - La concentration d'huile du concentré ne dépasse pas 25 % car elle est limitée par le bouchage / l'obstruction des membranes. - Les membranes demandent un lavage à contre-courant afin d'éliminer l'obstruction produite par l'huile.

Source : Données extraites du *Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos*.

5. CAS PRATIQUES

Dans ce chapitre, nous exposerons les cas réels d'entreprises qui ont amélioré leurs processus de production par le biais de l'implantation d'alternatives de prévention de la pollution. Chaque exemple contient une description de l'activité développée par l'entreprise, des problèmes environnementaux associés et des mesures appliquées afin d'éliminer ou de réduire les impacts environnementaux dérivés de leur fonctionnement. En dernier lieu, nous montrons un résumé des aspects économiques associés à l'implantation de chaque mesure dans le contexte dans lequel il a été appliqué.

5.1. Cas pratique 1 : Componentes Mecánicos, S. A.

Entreprise

Componentes Mecánicos, S. A. (COMESA) est une « joint venture » entre les entreprises IVECO PEGASO et ZF (ZAHNRADFABRIK FRIEDRICHSHAFEN). Située dans la Zona Franca (Barcelone, Espagne), elle emploie 360 personnes et se consacre à la fabrication de pièces et de composants pour l'industrie de l'automobile.

Les pièces fabriquées sont : des composants pour des axes de traction et des axes de traction montés, des composants de boîtes de vitesses et des boîtes de vitesse montées ainsi que différents types d'engrenages et d'axes qui sont envoyés à d'autres usines pour leur montage final.

En général, les pièces passent par les phases suivantes : l'usinage flexible, le traitement thermique, usinage dur (rectification), le montage, la peinture (pour certains produits) et l'expédition. Parmi les phases qui conduisent au montage il y a une opération de lavage.

Secteur industriel

Métallurgique. Fabrication de composants pour véhicules industriels.

Antécédents

La consommation de fluide de coupe au cours des opérations d'usinage produit un résidu consistant en fluide de coupe usé qui doit être correctement géré car il s'agit d'un résidu très dangereux.⁴ Au cours du processus, une partie de ce fluide se perd car il adhère à la surface des pièces et des copeaux, ce qui provoque en outre une pollution de l'environnement par égouttement pendant le transvasement de ceux-ci. Pour cette raison, une étape postérieure de lavage des pièces (dégraissage) est nécessaire, ainsi que des opérations auxiliaires de nettoyage de l'usine, ce qui cause des dépenses additionnelles de gestion de l'effluent résiduel.

Dans ce contexte, COMESA a décidé de lancer en 1998 un processus de mise en marche d'un système de gestion environnementale qui lui a permis, en 2000, d'obtenir le certificat ISO 14001, ainsi que la vérification du règlement 1836/93 EMAS. Ce fait a entraîné l'introduction de plusieurs mesures au cours des années 1998 et 2003 afin d'éviter la pollution. Parmi ces dernières, nous exposons celles qui font référence aux eaux résiduaires et à l'huile de coupe usée.

⁴ Classé comme résidu dangereux selon le Catalogue européen de résidus (CED).

Résumé de l'action

Les mesures lancées à COMESA pour éviter la pollution ont été les suivantes :

- 1) L'installation d'un évaporateur qui, après filtrage, récupère l'eau qui provient du fluide de coupe usé, des bains de lavage usés des pièces et des eaux résiduelles de nettoyage. L'eau récupérée se réutilise par la suite dans le processus auxiliaire de nettoyage des sols de manière que, grâce à cette mesure, on réduit la consommation d'eau et on minimise le volume de résidus à traiter.

Photographie 4

L'EVAPORATEUR POUR LA RECUPERATION DES EAUX RESIDUAIRES



Cédée par Componentes Mecánicos, S. A.

- 2) L'utilisation d'une presse pour récupérer l'huile de coupe contenue dans les filtres jetables lors du processus de rectification. L'huile de coupe de ce processus est filtrée à travers des sacs en cellulose pour être remise en circulation dans le système, ce qui produit un résidu composé de poudre d'acier et le sac lui-même. Le pressage du résidu final permet de récupérer une grande partie de l'huile tout en obtenant une poussière sèche d'acier que l'on peut recycler.

Photographie 5

PRESSE



Cédée par Componentes Mecánicos, S. A.

Photographie 6

LE CONTENU DES FILTRES



Cédée par Componentes Mecánicos, S. A.

- 3) L'installation de plateaux et de centrifugeuses sur trois machines de coupe afin de reverser dans le dépôt d'approvisionnement l'huile emportée par les pièces. Les plateaux recueillent l'huile perdue par égouttement de la pièce dans les différentes parties de la machine et l'équipement de centrifugation récupère l'huile de coupe qui adhère aux pièces.

Photographie 7

L'EQUIPEMENT DE CENTRIFUGATION



Cédée par Componentes Mecánicos, S. A.

- 4) La séparation dans des containers différents des copeaux imprégnés d'huile de coupe et des copeaux qui contiennent du fluide de coupe aqueux ainsi que la récupération de l'huile de coupe qui provient de l'égouttage pour sa réutilisation. La mesure a été lancée par le biais de la réalisation d'une œuvre civile afin de récupérer ces fluides qui proviennent de l'égouttage, en remettant en circulation l'huile de coupe dans le processus et en gérant le fluide de coupe aqueux comme un résidu. Les travaux ont consisté à installer un dépôt souterrain imperméabilisé où l'on récupère l'huile qui tombe par gravité du container qui contient les copeaux imprégnés d'huile de coupe et de la pompe qui les fait passer dans un dépôt d'huile. Avant cette mesure, on gérât ensemble comme résidu l'huile de coupe et le fluide de coupe aqueux.

Photographie 8

LE SYSTEME POUR RECUPERER L'HUILE DE COUPE QUI S'EGOUTTE DES COPEAUX



Cédé par Componentes Mecánicos, S. A.

Bilans

MESURE 1. ÉVAPORATEUR POUR LA RÉCUPÉRATION DE L'EAU RÉSIDUAIRE		
	Processus précédent (1998)	Processus actuel (1999)
BILAN DU MATÉRIEL		
Consommation d'eau	634 000 l/an	118 000 l/an
Résidus liquides à traiter	654 000 l/an	33 000 l/an
BILAN ÉCONOMIQUE		
Dépense en consommation d'eau	2 193,7 €/an	781,3 €/an
Dépense en gestion des résidus liquides	149 363,5 €/an	7 861,2 €/an
Dépense énergétique et d'entretien de l'équipement	–	7 843,2 €/an
ÉCONOMIE ET DÉPENSES		
Économie en consommation d'eau		1 412,5 €/an
Économie dans la gestion de résidus liquides		141 502,3 €/an
Dépenses énergétiques et d'entretien		7 843,2 €/an
INVESTISSEMENT	82 078,9 €	
ÉCONOMIE ANNUELLE	135 071,6 €/an	
PÉRIODE D'AMORTISSEMENT	0,61 ans ≈ 7 mois	

Source : Componentes Mecánicos, S. A. et fiche *Medclean* n° 28.

MESURE 2. PRESSE POUR LA RÉCUPÉRATION DE L'HUILE DE COUPE DU PROCESSUS DE RECTIFICATION		
	Processus précédent (2001)	Processus actuel (2002)
BILAN DU MATÉRIEL		
Consommation d'huile	30 000 Kg/an	15 000 Kg/an
Résidus à incinérer	40 000 Kg/an	400 Kg/an
Huile recyclée	–	10 500 Kg/an
Acier recyclé	–	21 640 Kg/an
BILAN ÉCONOMIQUE		
Dépense en huile de coupe	28 500 €/an	14 250 €/an
Dépense dans la gestion de résidus (incinération)	32 800 €/an	328 €/an
Dépense énergétique et d'entretien de l'équipement	–	100 €/an
Dépense de la main d'œuvre	–	700 €/an
ÉCONOMIE ET DÉPENSES		
Économie en consommation d'huile de coupe		14 250 €/an
Économie en dépenses d'incinération		32 472 €/an
Dépenses énergétiques, d'entretien et de main d'œuvre		800 €/an
INVESTISSEMENT	11 500 €	
ÉCONOMIE ANNUELLE	45 922 €/an	
PÉRIODE D'AMORTISSEMENT	0,25 ans ≈ 3 mois	

Source: Componentes Mecánicos, S. A.

MESURE 3. LES PLATEAUX ET LES CENTRIFUGEUSES POUR LA RÉCUPÉRATION DE L'HUILE DE COUPE PERDUE DANS LES TRAÎNÉES SUR LES PIÈCES		
	Processus précédent (2002)	Processus actuel (2003)
BILAN DU MATÉRIEL		
Consommation d'huile de coupe	2 400 Kg/an	1 500 Kg/an
Huile récupérée dans la centrifugeuse	–	515 Kg/an
Huile récupérée dans les plateaux	–	385 Kg/an
BILAN ÉCONOMIQUE		
Dépense en huile de coupe	1 440 €/an	900 €/an
Dépense dans la gestion des résidus (provenant des bains du lavage des pièces)	4 600 €/an	460 €/an
Dépense énergétique et d'entretien de l'équipement	–	120 €/an
ÉCONOMIE ET DÉPENSES		
Économie en consommation d'huile de coupe		540 €/an
Économie dans le traitement de résidus		4 140 €/an
Dépenses énergétiques et d'entretien		120 €/an
INVESTISSEMENT	5 500 €	
ÉCONOMIE ANNUELLE	4 560 €/ an	
PÉRIODE D'AMORTISSEMENT	1,2 ans	
*La dépense dans la gestion des résidus est calculée en considérant les dépenses créées par la diminution de la vie utile des bains de lavage étant donné l'apport en huile des pièces non centrifugées.		

Source: Componentes Mecánicos, S. A.

MESURE 4. RÉCUPÉRATION DE L'HUILE DE COUPE PROVENANT DE L'ÉGOUTTAGE DES COPEAUX		
	Processus précédent (2002)	Processus actuel (2003)
BILAN DU MATÉRIEL		
Consommation d'huile de coupe	30 000 Kg/an	11 500 Kg/an
Fluide à traiter	75 000 l/an (fluide de coupe aqueux et huile)	50 000 l/an (seulement fluide de coupe aqueux)
Huile recyclée (huile de coupe)	–	18 000 Kg/an
BILAN ÉCONOMIQUE		
Dépense en huile de coupe consommée	18 000 €/an	6 900 €/an
Dépense de fluide à traiter	18 000 €/an (fluide de coupe aqueux et huile)	12 000 €/an (seulement fluide de coupe aqueux)
Dépense énergétique et d'entretien		120 €/an
ÉCONOMIE ET DÉPENSES		
Économie en consommation d'huile		11 100 €/an
Économie en traitement des résidus		6 000 €/an
Dépenses énergétiques et d'entretien		120 €/an
INVESTISSEMENT	15 000 €	
ÉCONOMIE ANNUELLE	16 980 €/an	
PÉRIODE D'AMORTISSEMENT	0,88 ans \approx 11 mois	

Source: Componentes Mecánicos, S. A.

Observations

Les mesures décrites dans ce cas pratique se caractérisent par un remboursement rapide de l'investissement. Cependant, pour évaluer son applicabilité à d'autres cas, il faut aussi considérer que le niveau de résidus produit doit être significatif pour l'amortissement de l'investissement.

Les trois premières mesures permettent des niveaux de réduction des dépenses de traitement de résidus d'environ 90 %. Les plateaux et les centrifugeuses, avec un investissement relativement réduit, permettent, en outre, de diminuer d'environ 37 % l'huile de coupe consommée. Il faut souligner que cette mesure entraîne une amélioration générale de la qualité de l'environnement de travail.

D'autre part, l'installation d'une presse pour récupérer l'huile de rectification apparaît comme une mesure économique et simple selon ce que l'on peut juger à travers les résultats obtenus : réduction de 50 % environ de la consommation d'huile et économie approximative de 90 % des dépenses pour la gestion du résidu final.

5.2. Cas pratique 2: Tecnoform, S. A.

Entreprise

TECNOFORM, S. A. est une entreprise de 50 travailleurs, située à Torelló (Barcelone, Espagne), qui se consacre à l'emboutissage, l'étampage et le façonnage de pièces métalliques à partir de bandes de fer, de laiton ou d'acier inoxydable. Les pièces obtenues, de taille, formes et applications diverses, sont destinées au secteur de l'électroménager, de l'électricité et de l'automobile.

Secteur industriel

Métallurgique. Découpage à l'emporte-pièce et emboutissage de métaux.

Antécédents

Les machines utilisées dans les processus d'emboutissage, d'étampage et de façonnage requièrent l'utilisation d'huile de lubrification afin de favoriser le façonnage de la pièce. L'utilisation de cette huile implique l'obtention de pièces imprégnées de ce fluide et qui doivent être dégraissées. En outre, le processus implique une consommation élevée d'huile, fait qui est aggravé par l'absence d'un système qui permette son recyclage.

La mise en marche de mesures d'amélioration chez Tecnoform, S. A. s'est faite dans le but de réduire la consommation de matières premières et de diminuer la charge polluante de l'effluent résiduaire déversé afin de s'adapter à la législation en vigueur. La réduction de la consommation de matières premières s'est surtout centrée sur la consommation d'eau et d'huile de lubrification. La stratégie suivie pour améliorer les caractéristiques des effluents déversés a consisté, principalement, à remplacer les matières premières que ce soit pour l'opération de dégraissage ou pour la lubrification du processus.

Résumé de l'action

Les actions entreprises chez TECNOFORM, S. A. se sont déroulées pendant la période 1995 – 1997, après l'analyse de la gestion environnementale de l'entreprise et ont consisté à :

- 1) Remplacer l'huile de lubrification par une autre exempte de chlore et de soufre dans sa composition. Cette mesure a requis de nombreux essais jusqu'à ce que l'on trouve le lubrifiant adéquat aux spécifications de chaque processus.

- 2) Récupérer l'huile de lubrification à travers un système de centrifugation installé à côté des machines afin de permettre la remise en circulation du lubrifiant.
- 3) Remplacer l'hydrocarbure utilisé dans le processus de dégraissage des pièces par du détergent et de l'eau et réutiliser cette solution.
- 4) Modifier la forme d'utilisation de la sciure. Auparavant, celle-ci s'appliquait directement sur la pièce imprégnée d'huile, tandis qu'actuellement on l'utilise pour sécher la pièce une fois que cette dernière a été nettoyée avec le détergent mentionné dans le paragraphe précédent.
- 5) Implanter une politique de bonnes pratiques au sein du personnel afin de diminuer la fréquence de nettoyage du sol de l'atelier et de se passer de l'utilisation de détergents acides.

Bilans

	Avant les améliorations	Après les améliorations
CONSOMMATIONS		
Huile de lubrification	5 000 l/an	2 500 l/an
Eau de nettoyage des pièces	2 600 m ³ /an	700 m ³ /an
Hydrocarbure de dégraissage	1 400 Kg/an	0
Détergent de dégraissage	3 300 kg/an	1 050 kg/an
Sciure	14 t/an	3 t/an
BILAN ÉCONOMIQUE		
Huile de lubrification	18 816 €/an	11 961 €/an
Eau du nettoyage des pièces	906 €/an	244 €/an
Hydrocarbure de dégraissage	1 240 €/an	0 €/an
Détergent de dégraissage	5 975 €/an	2 690 €/an
Sciure	5 047 €/an	1 623 €/an
Gestion des résidus	1 985 €/an	2 855 €/an
Traitement des eaux résiduaires	193 €/an	3 306 €/an
ÉCONOMIE ET DÉPENSES		
Économie en huile de lubrification		6 855 €/an
Économie en eau		662 €/an
Économie en agents de dégraissage		7 949 €/an
Augmentation des dépenses en gestion des résidus et en eaux résiduaires		3 983 €/an
INVESTISSEMENT	31 444 €	
ÉCONOMIE ANNUELLE	11 483 €/an	
PÉRIODE D'AMORTISSEMENT	2,7 ans	

Source : Fiche P+N n° 14.

Observations

La rénovation, depuis 1995, des méthodes opérationnelles utilisées dans l'entreprise dans le but d'obtenir des améliorations environnementales et d'économiser des ressources comporte une réduction de la consommation de produits et une meilleure qualité des effluents résiduaires déversés. Concrètement, la consommation d'huile de lubrification a été réduite d'à peu près 50 %, celle de sciure d'environ 75 % et celle d'hydrocarbure pour le dégraissage a été totalement éliminée. Parallèlement, on a observé une légère augmentation de la productivité en réduisant le temps passé au nettoyage des pièces et on a augmenté la qualité du dégraissage.

5.3. Cas pratique 3 : Grupo Elcoro Decoletaje, S. L.

Entreprise

GRUPO ELCORO DECOLETAJE, S. L. a débuté en tant qu'entreprise en 1892. Il dispose actuellement de 3 centres de production, deux d'entre eux implantés à Elgeta et à Mendaro (Guipúzcoa, Espagne) et le troisième à Pampelune (Navarre, Espagne). Le groupe est formé par environ 150 personnes.

Son activité se centre dans la fabrication de pièces usinées destinées à plusieurs secteurs tels que, entre autres, l'automobile, l'éolique, l'électricité et les outils.

Les machines présentes dans l'entreprise sont des tours (15 tours à contrôle numérique et 35 tours automatiques monobroche et multibroche), des centres d'usinage, des machines pour des opérations secondaires (fraises, perceuses, rectifieuses, etc.) et des machines de coupe, de biseautage, d'usinage pour des axes et des bagues. Dans ce cas pratique nous ne traiterons que des tours pour lesquels on utilise de l'huile de coupe ou du fluide de coupe aqueux, car ils sont caractéristiques de l'activité principale de l'entreprise.

Secteur industriel

Métallurgie. Décolletage et usinage du métal.

Antécédents

Au cours des opérations d'usinage, une partie du fluide de coupe se perd en éclaboussures et une autre dans les traînées sur les pièces et les copeaux, ce qui rend nécessaire de remplir régulièrement le dépôt d'approvisionnement, provoquant ainsi une consommation additionnelle de ce fluide.

Une étude détaillée réalisée dans le groupe Elcoro a révélé que 70 % des pertes de fluide de coupe étaient le résultat d'éclaboussures du fluide de coupe utilisé, de l'huile de coupe ou d'un fluide à base aqueuse. Dans ce sens, le système de tour qui fonctionnait avec de l'huile de coupe disposait d'un processus de centrifugation des pièces et des copeaux pour remettre en circulation et réutiliser une fraction de l'huile de coupe initiale. Par contre, on laissait reposer les copeaux imprégnés de fluide de coupe aqueux et une partie de ce fluide s'égouttait par principe de gravité (4,6 % du total des recharges), mais ils ne disposaient d'aucun système de réutilisation de ce fluide car ce dernier était recueilli dans de petites fosses et était ensuite traité comme résidu.

Le tableau suivant montre la consommation de fluide de coupe et les pertes annuelles de celui-ci, compensées par les recharges, avant l'implantation des mesures d'amélioration.

HUILE DE COUPE			
ENTRÉE		CONSOMMATION DES RECHARGES *	
Consommation	16 500 l/an	Éclaboussures	9 405 l/an → 70 %
Approvisionnement initial	2 970 l/an	Traînées sur les copeaux	550 l/an → 4 %
Recharges	13 530 l/an	Traînées sur les pièces	3 575 l/an → 26 %
FLUIDE DE COUPE AQUEUX			
ENTRÉE		CONSOMMATION DES RECHARGES *	
Consommation	55 000 l/an	Éclaboussures	37 286 l/an → 70 %
Fourniture initiale	1 734 l/an	Fluide de coupe à gérer	- 4 048 l/an → 7,6 %
		- Égouttage des copeaux	- 2 450 l/an → 4,6 %
		- Usé	- 1 598 l/an → 3 %
Recharges	53 266 l/an	Traînée sur les copeaux	9 055 l/an → 17 %
		Traînée sur les pièces	2 877 l/an → 5,4 %
* On considère que l'on ne doit pas gérer l'huile de coupe usée car la quantité annuelle n'est pas significative			

Résumé de l'action

Les actions effectuées dans le GRUPO ELCORO DECOLETAJE, S. L. entre 2000 et 2001 afin de diminuer les pertes et, par conséquent, la consommation de fluide de coupe consistent à :

- 1) Caréner les machines par le biais de l'installation d'écrans rigides à haut rendement, dans le but d'empêcher la projection de fluide de coupe en dehors de la zone d'usinage. Les machines sont munies d'un système de plateau, de pompe et de filtre afin de réutiliser le fluide de coupe, de manière que l'implantation de cette mesure permette de remettre en circulation une plus grande quantité de fluide en diminuant les pertes de ce dernier par éclaboussures

Photographie 9

LE CARENAGE DE L'UN DES TOURS MONOBROCHE



Cédé par le Grupo Elcoro Decoletaje, S. L.

- 2) Installer un système de captation et de pompage afin de réintroduire, dans le circuit d'approvisionnement, le fluide de coupe aqueux provenant de l'égouttage des copeaux et qui se dépose dans une petite fosse.
- 3) Implanter des plateaux de captation du produit de l'égouttage des pièces usinées avec du fluide de coupe aqueux. Le fluide qui se dépose dans les plateaux est ensuite versé dans la zone d'égouttage, mentionnée dans le paragraphe précédent, pour être réutilisé.

Bilans

MESURE 1 A. LE CARÉNAGE DES TOURS TRAVAILLANT AVEC DES FLUIDES DE COUPE AQUEUX	
INVESTISSEMENT	25 500
Nombre de carénages	17
Prix unitaire	1 500 €
ÉCONOMIE ANNUELLE³	4 663 €
DÉPENSES ADDITIONNELLES ANNUELLES	1 405 €
Dépenses pour le financement	1 277 €
Dépenses d'entretien	128 €
RÉDUCTION DES DÉPENSES ANNUELLES	6 068 €
Économie en consommation de concentré (1 919 l de concentré à 2,4 €/ l)	4 606 €
Économie en consommation d'eau (36,5 m ³ d'eau à 0,60 €/ m ³)	22 €
Économie en nettoyage (1 h hebdomadaire ; 48 semaines à 30 €/h)	1 440 €
PÉRIODE D'AMORTISSEMENT	5,5 ans

Source : Grupo Elcoro Decoletaje, S. L. et IHOBE, S. A.

MESURE 1 B. LE CARÉNAGE DES TOURS TRAVAILLANT AVEC DE L'HUILE DE COUPE	
INVESTISSEMENT	13 500
Nombre de carénages	9
Prix unitaire	1 500 €
ÉCONOMIE ANNUELLE	5 619 €
DÉPENSES ADDITIONNELLES ANNUELLES	744 €
Dépenses de financement	676 €
Dépenses d'entretien	68 €
RÉDUCTION DES DÉPENSES ANNUELLES	6 363 €
Économie en consommation d'huile de coupe (9 405 l d'huile de coupe à 0,60 €/ l)	5 643 €
Économie en nettoyage (1 h par quinzaine ; 24 quinzaines à 30 €/h)	720 €
PÉRIODE D'AMORTISSEMENT	2,4 ans

Source : Grupo Elcoro Decoletaje, S. L. et IHOBE, S. A.

MESURE 2. L'INSTALLATION D'UN SYSTÈME DE CAPTATION ET DE POMPAGE POUR LA RÉINTRODUCTION DANS LE CIRCUIT D'APPROVISIONNEMENT DU FLUIDE DE COUPE AQUEUX PROVENANT DE L'ÉGOUTTAGE DES COPEAUX	
INVESTISSEMENT	2 402 €
Pompe	1 500 €
Tuyauterie et soupapes de captation et de transvasement	902 €
ÉCONOMIE ANNUELLE	415 €
DÉPENSES ADDITIONNELLES ANNUELLES	198 €
Dépenses de financement	120 €
Dépenses d'entretien	48 €
Consommation électrique estimée	30 €
RÉDUCTION DES DÉPENSES ANNUELLES	613 €
Économie en consommation de concentré (127,5 l de concentré à 2,4 €/l)	306 €
Économie en consommation d'eau (2,4 m ³ d'eau à 0,60 €/m ³)	1 €
Économie en gestion de résidus (2 550 l à 0,12 €/l)	306 €
PÉRIODE D'AMORTISSEMENT	5,8 ans

Source : Grupo Elcoro Decoletaje, S. L. et IHOBE, S. A.

MESURE 3. IMPLANTATION DE PLATEAUX DE CAPTATION DE L'ÉGOUTTAGE DES PIÈCES USINÉES AVEC DU FLUIDE DE COUPE AQUEUX	
INVESTISSEMENT	3 060 €
Nombre de plateaux	17
Prix unitaire	180 €
ÉCONOMIE ANNUELLE	908 €
DÉPENSES ADDITIONNELLES ANNUELLES	280 €
Dépenses de financement	255 €
Dépenses d'entretien	25 €
RÉDUCTION DES DÉPENSES ANNUELLES	1 188 €
Économie en consommation de concentré (355 l de concentré à 2,4 €/l)	852 €
Économie en consommation d'eau (9,5 m ³ d'eau à 0,60 €/m ³)	6 €
Économie en gestion de résidus (1 h mensuelle ; 11 mois à 30 €/h)	330 €
PÉRIODE D'AMORTISSEMENT	3,4 ans

Source : Grupo Elcoro Decoletaje, S. L. et IHOBE, S. A.

Observations

Le carénage des machines implique l'élimination de la production d'éclaboussures qui, selon une étude réalisée dans le Grupo Elcoro, était le phénomène responsable de 70 % des pertes aussi bien

d'huile de coupe que de fluide de coupe et de la fréquence de nettoyage du sol industriel, outre une valeur ajoutée concernant l'image et l'hygiène de l'entreprise.

D'autre part, la récupération de fluide de coupe aqueux provenant des copeaux (4,6 % des pertes) suppose une diminution de la quantité de résidus produite annuellement et, en même temps, une réduction de la consommation initiale.

Finalement, la troisième mesure, outre qu'elle a apporté une réduction dans la consommation de fluide de coupe aqueux, élimine la pollution du parc de stockage des pièces et, par conséquent, le risque ayant trait à l'hygiène et à la santé au travail.

6. CONCLUSIONS

L'utilisation de fluides de coupe est l'un des faits les plus caractéristiques du sous-secteur de l'usinage du métal. À son tour elle détermine la plupart des aspects environnementaux du secteur. Ce fluide, en perdant les propriétés initiales pour lesquelles il a été préparé, devient un résidu⁵ qui doit être correctement géré afin de minimiser les effets adverses qu'il provoque sur l'environnement.

Son utilisation peut également occasionner la formation de brouillards d'huile au cours du processus et la pollution par égouttement et éclaboussures du milieu de travail. Une partie du fluide est entraînée par les pièces et les copeaux, ce qui oblige à réaliser des opérations de dégraissage sur la pièce fabriquée. Dans ce sens, la composition de l'agent dégraissant utilisé dans le processus détermine le problème de l'effluent résiduel obtenu.

Étant donné les impacts environnementaux dérivés de l'utilisation de fluide de coupe, une grande partie des opportunités de prévention intégrée de la pollution décrites dans ce manuel se basent sur sa réduction et sa récupération.

Dans le paragraphe sur la réduction à la source de la pollution, on peut mentionner des alternatives de remplacement de fluide de coupe traditionnel par un autre ayant une composition plus respectueuse de l'environnement et par celles qui réduisent sa consommation (usinage à sec, technologie MQL, carénage des machines, contrôle et entretien du fluide de coupe et optimisation de ses conditions d'application) ainsi que la formation de brouillards d'huile de coupe dans l'atmosphère de travail. Quant à la récupération et au recyclage à la source, nous avons traité des aspects tels que l'entretien de l'huile de coupe (à l'aide d'équipements qui séparent les solides et les impuretés présents dans le fluide usé) et des solutions dégraissantes ainsi que d'autres effluents liquides produits (par des techniques d'évaporation, de distillation, de flottaison, d'absorption, de séparation électrolytique et d'ultrafiltration). Il faut attirer l'attention sur le paragraphe concernant les bonnes pratiques environnementales qui, par une simple application et une dépense réduite donnent des résultats rapides et surprenants.

Nous pouvons donc affirmer que le secteur dispose d'une grande variété et de nombreuses solutions, de dépenses elles aussi variables que ce soit pour économiser dans la consommation d'huiles de coupe ou pour réduire la production de courants résiduels.

Étant donné la variété d'alternatives, de dépenses et de conditions d'applicabilité associées à chacune d'elles, il est recommandé de réaliser une analyse préalable ayant pour objectif de déterminer ces mesures d'amélioration environnementale qui s'adaptent le mieux à chaque cas concret. L'opportunité d'une étude préalable est plus évidente dans le contexte dans lequel le manuel s'applique, étant donné l'hétérogénéité des pays qui composent le PAM, qu'il s'agisse de la situation et des caractéristiques du secteur industriel ou des ressources destinées à l'adoption de mesures de production propre dans les entreprises, ou à des différences en matière de législation environnementale applicables dans chaque pays.

⁵ Résidu dangereux selon le Catalogue européen des déchets (CED).

7. BIBLIOGRAPHIE

7.1. Études

- GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT. CENTRE PER A L'EMPRESA I EL MEDI AMBIENT, S. A. Estudi sectorial de minimització del sector metal·lúrgic ubicat o proper a zones urbanes. Jun 2002. (Document inédit)
- GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT. CENTRE PER A L'EMPRESA I EL MEDI AMBIENT, S. A. Sector metal·lúrgic: Base de dades de tecnologies. Octubre 2000. (Document inédit)
- GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT. CENTRE PER A L'EMPRESA I EL MEDI AMBIENT, S. A. Grup de treball al sector metal·lúrgic. Abril 2001. (Document inédit)
- COMISIÓN EUROPEA. DIRECCIÓN GENERAL CIC (CENTRO DE INVESTIGACIÓN CONJUNTA). Instituto de Estudios Tecnológicos. Tecnologías para Desarrollo Sostenible. Oficina Europea de PCIC. Prevención y Control Integrado de la Pollution (PCIC). Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales Féreos. Décembre 2001. (Accessible sur le site web : <http://www.gencat.net>)
- COMISIÓN EUROPEA. DIRECCIÓN GENERAL CIC (CENTRO DE INVESTIGACIÓN CONJUNTA). Instituto de Estudios Tecnológicos. Tecnologías para Desarrollo Sostenible. Oficina Europea de PCIC. Prevención y Control Integrado de la Pollution (PCIC). Documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Proceso de Metales No Féreos. Décembre 2001. (Accessible sur le site web : <http://www.gencat.net>)
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Proyecto de Agenda de Sectores de la Oficina de Conformidad de la EPA. Perfil de la Industria de Productos Metálicos Fabricados. Septiembre 1995. (Accessible sur le site web : <http://www.epa.org>)
- U.S. EPA/SEDESOL (Grupo de Trabajo sobre la Prevención de la Pollution). La Minimización de Residuos en la Industria del Acabado de Metales. Mai 1993. (Accessible sur le site web : <http://www.epa.org>)
- A. GARCÍA. El sector industrial metalúrgico en España y Cataluña. Ed.: Maquitech 2002 – Fira de Barcelona. Septiembre 2002. (Accessible sur le site web : <http://www.maquitech.com>)
- CENTRO DE ACTIVIDAD REGIONAL PARA LA PRODUCCIÓN LIMPIA (CAR/PL). Estado de la producción más limpia en los países del Plan de Acción para el Mediterráneo. Juin 2001. (Accessible sur le site web : <http://www.gencat.net>)
- CENTRO DE ACTIVIDAD REGIONAL PARA LA PRODUCCIÓN LIMPIA (CAR/PL). Estado de la producción más limpia en los países del Plan de Acción para el Mediterráneo. 2e édition. Janvier 2004.
- CENTRO DE ACTIVIDAD REGIONAL PARA LA PRODUCCIÓN LIMPIA (CAR/PL). Status and Trends of Industry and Sustainable Development in the Mediterranean Region. Octubre 2001. (Accessible sur le site web : <http://www.gencat.net>)

7.2. Publications

GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT. *Manual d'ecogestió, 6. Prevenció de la contaminació al sector de tractament de superfícies*. Février 2002.

GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT. *Seminaris territorials sobre Qualificació Ambiental a les empreses. Fitxa 10: La qualitat ambiental al sector del metall*.

GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT D'INDÚSTRIA I ENERGIA. *Indústria bàsica i productes metàl·lics. La indústria a Catalunya, nº 5*. 1991.

GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT. CENTRE PER A L'EMPRESA I EL MEDI AMBIENT. *Col·lecció Fitxes P+N*. (Accessible sur le site web : <http://www.cema-sa.org>)

GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT. CENTRE D'ACTIVITATS REGIONALS PER A LA PRODUCCIÓ NETA (CAR-PN). *Fichas Medclean*. (Accessible sur le site web : <http://www.gencat.net>)

GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE TREBALL, INDÚSTRIA, COMERÇ I TURISME. *Informe anual sobre la indústria a Catalunya, 2002*. Juillet 2003. (Accessible sur le site web : <http://www.gencat.net>)

IHOBE, S. A. *Libro Blanco para la minimización de residuos y emisiones. Mecanizado del Metal*. 1999. (Accessible sur le site web : <http://www.ihobe.es>)

IHOBE, S. A. *Taladrinas agotadas: Un residuo a reducir*. 1993 (rééd. 1997). (Accessible sur le site web : <http://www.ihobe.es>)

IHOBE, S. A. *Reducción de los gastos mediante una gestión eficaz de las virutas*. 2002. (Accessible sur le site web : <http://www.ihobe.es>)

IHOBE, S. A. *Listado vasco de tecnologías limpias*. 2004. (Accessible sur le site web : <http://www.ihobe.es>)

IHOBE, S. A. *Excelencia ambiental en empresas vascas: Casos prácticos*. 2004. (Accessible sur le site web : <http://www.ihobe.es>)

CONFEDERACIÓN DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA ARAGONESA (CEPYME/ARAGÓN). *Manual de minimización de residuos y emisiones industriales para las industrias transformadoras de los metales del sector metal*. (Document inédit)

CESI COFOR, S. A. *Guía de Gestión Medioambiental para empresas del sector del metal de la provincia de Badajoz*. Consejería de Economía y Trabajo de la Junta de Extremadura. Mars 2004.

GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE MEDI AMBIENT. *Las buenas prácticas medioambientales en Metalmecánica*. Conselleria de Medi Ambient de la Generalitat Valenciana et Consejo de Cámaras de la Comunidad Valenciana. 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). *Anuario Estadístico de España*. 2004. (Accessible sur le site web : <http://www.ine.es>)

7.3. Revues techniques

Filtration News, nº 8. Éditée par Kenfilt-Novotecnic. Septembre 2004.

Service Lub (Publicación periódica del primer grupo europeo de industrias de lubricantes). Octubre - noviembre 2004.

7.4. Livres

J. VIVANCOS et al. *Tecnologías de Fabricación. Tomo I. Procesos de mecanizado*. ETS d'Enginyeria Industrial de Barcelona. 1996

A. NÁPOLES et al. *Tecnología mecánica*. Ediciones UPC. 2002

P. MOLERA. *Conformación metálica*. Ed. Marcombo. 1991

J. VIVANCOS et al. *Tecnologías de Fabricación. Tomo II. Procesos de Fusión, moldeo y deformación*. ETS d'Enginyeria Industrial de Barcelona. 1998

A. LEYENSETTER. *Tecnología de los oficios metalúrgicos*. Editorial Reverté, S. A. 1987

J. E. NEELY. *Metalurgia y materiales industriales*. Ed. Limusa, S. A. 2001

F. R. MORRAL et al. *Metalurgia general. Tomo II*. Ed. Reverté, S. A. 1985

TUBAL CAIN. *Endurecimiento, revenido y tratamiento térmico*. Ed. G. Gili, S. A. 1993

J. M. LASHERAS. *Tecnología mecánica y metrotécnia*. Ed. Donostiarra, S. A. 1997

7.5. Sites web consultés

<http://www.gencat.net/mediamb> (Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya)

<http://www.cema-sa.org> (Centro para la Empresa y el Medio Ambiente, S. A.)

<http://www.mma.es> (Ministerio de Medio Ambiente)

<http://www.eper-es.com> (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes del Ministerio de Medio Ambiente)

<http://www.mtas.es> (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales)

<http://www.ihobe.es> (IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental)

<http://www.fundacionentorno.org> (Fundación Entorno)

<http://www.eippcb.jrc.es> (European Integrated Pollution Prevention Control Bureau)

<http://www.epa.org> (Environmental Protection Agency)

<http://www.ceam-metal.es> (Centro de estudios y asesoramiento metalúrgico)

<http://www.confemetal.es> (Confederación Española de Organizaciones Empresariales del Metal)

<http://www.aimme.es> (Instituto Tecnológico Metalmeccánico)

<http://cepymearagon.es> (Confederación de la Pequeña y Mediana Empresa Aragonesa)

<http://www.istas.net> (Fundación sindical autónoma de la Confederación Sindical de Comisiones Obreras)

<http://www.unepmap.gr> (United Nations Environment Programme Mediterranean Action Plan)

<http://www.unido.org> (United Nations Industrial Development Organization)

<http://www.ine.es> (Instituto Nacional de Estadística Español)

<http://www.instat.gov.al> (Institute of Statistics of Albania)

<http://www.ons.dz> (Statistics Algeria. National Office of Statistics)

<http://www.bhas.ba> (Agency for Statistics of Bosnia and Herzegovina)

<http://www.dzs.hr> (Republic of Croatia-Central Bureau of Statistics)

<http://www.capmas.gov.eg> (Central Agency for Public Mobilization and Statistics)

<http://www.stat.si> (Statistical Office of the Republic of Slovenia)

<http://www.ine.es> (Instituto Nacional de Estadística)

<http://www.insee.fr> (Institut national de la Statistique et des Études)

<http://www.statistics.gr> (General Secretariat of National Statistical Service of Greece)

<http://www.cbs.gov.il> (Central Bureau of Statistic of Israel)

<http://www.istat.it> (National Institute of Statistics Italia)

<http://www.cas.gov.lb> (Central Administration for Statistics. Lebanese Republic)

<http://www.szs.sv.gov.yu> (Serbia and Montenegro Statistical Office)

<http://www.tunisianindustry.nat.tn> (Tunisian Industry Portal)

<http://www.die.gov.tr> (State Institute of Statistics Turkey)

7.6. Entreprises du secteur

Componentes Mecánicos, S. A. (COMESA) : <http://www.comesa.es>

Cotecing, S. L.

Dilube, S. A. Grupo Olivé : <http://www.dilube.com>

Filter 2000, S. L. : www.filter-2000.com

Chimiderouil, S. A. : <http://www.chimiderouil.com>

Industrias Metalúrgicas JEM, S. A. : <http://www.jem.es>

Gamor, S. L. : <http://www.gamor.es>

Tecnoform, S. A.

Grupo Elcoro Decoletaje, S. L. : <http://www.elcoro.com>

Canaletas, S. A. : <http://www.canaletas.es>

Barin, S. A. : www.barin.es

Novotecnic Europa, S. A. : www.kenfilt.net

Metales y Formas, S. L.

8. REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à M. Robert Gilart, de l'entreprise Componentes Mecánicos, S. A. pour sa collaboration désintéressée dans la révision des chapitres 3 et 4 de ce manuel.

Nous remercions aussi M. José Pedro Díaz Barrera de Cotecing, S. L., Mme Mónica Folch et M. Miquel Comas de Dilube, S. A. (Grupo Olivé), M. Fritz Schmid de Filter 2000, S. L. et M. Josep Maria Torras de Chimiderouil, S. A. pour le soutien technique qu'ils nous ont offert quant aux avis que nous leur avons demandés au cours de l'élaboration du manuel.

Nous remercions aussi pour leur collaboration les entreprises Grupo Elcoro Decoletaje, S. L., Componentes Metálicos, S. A. et Tecnoform, S. A. qui nous ont aimablement cédé leurs informations pour l'élaboration du chapitre sur les cas pratiques, ainsi que Talleres Gamor, S. L. et Canaletas, S. A. pour leur contribution en matière de matériel graphique concernant les illustrations des processus productifs.

À tous, notre reconnaissance.

9. ANNEXE. LA REPRÉSENTATIVITÉ DU SECTEUR MÉTALLURGIQUE DANS LES PAYS DU PAM

Dans l'ensemble des pays où se déploie le Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM), on estime que le secteur métallurgique suppose 7 % du total industriel.⁶

Nous souhaitons offrir dans cette annexe une vision de la représentativité de ce secteur dans chacun d'eux, à partir d'un ensemble d'indicateurs socioéconomiques.

Les pays inclus dans le PAM sont :

- Les pays du sud de la Méditerranée :
 - Algérie
 - Égypte
 - Liban
 - Libye
 - Maroc
 - Tunisie

- Les pays du nord de la Méditerranée :
 - Espagne
 - France
 - Grèce
 - Italie
 - Monaco

- Les pays de l'est de la Méditerranée :
 - Albanie
 - Bosnie-Herzégovine
 - Chypre
 - Croatie
 - Israël
 - Malte
 - Serbie et Monténégro
 - Slovénie
 - Turquie

Étant donné la diversité sociale, politique et économique des 21 pays mentionnés avant l'exposition des indicateurs propres au secteur métallurgique dans chaque pays, nous montrons des données générales qui permettent d'interpréter l'information postérieure dans le contexte de chaque pays.

⁶ CAR/PP. *Estado de la Producción más Limpia en los países del Plan de Acción para el Mediterráneo*. Janvier 2004.

Tableau 31. Les données générales des pays du PAM

PAYS	SUPERFICI E (10 ³ km ²)	POPULATION (millions d'habitants)	PIB ACTUEL (10 ⁹ €)	V.A. EN AGRICULTURE (% du PIB)	V.A. EN INDUSTRIE (% du PIB)	V.A. EN SERVICES (% du PIB)
Algérie	2 382	31,3	47,7	12,4	62,2	25,4
Égypte	1 000	66,4	76,9	16,8	35	48,2
Liban	10,4	4,44	14,8	11,7	21	67,3
Libye	1 759	5,53	29,24	7	44	49
Maroc	710	29,6	31,9	16,1	31,1	52,8
Syrie	185	17,76	21,9	23	28	49
Tunisie	164	9,8	18,1	10,4	29,1	60,5
Espagne	506	41,2	556,7	4	30	66
France	551,5	59,4	1.208	3	26	72
Grèce	132	10,63	114	8,1	22,3	69,3
Italie	301,3	57,9	1,23	2,8	28,9	68,2
Monaco	1,95 (km ²)	32,13 (milliers d'habitants)	745	ND	ND	ND
Albanie	28,8	3,2	4	32,4	22,7	44,9
Bosnie- Herzégovine	51,13	4,12	4,5	14	30	56
Chypre	9 250 (km ²)	765 (milliers d'habitants)	7,8	ND	ND	ND
Croatie	56,54	4,37	19,2	9,7	34,2	56,1
Slovénie	20,3	2	21,1	3,1	37,5	59,3
Israël	21,06	6,5	104,5	3	30	67
Malte	320 (km ²)	397 (milliers d'habitants)	3,1	2,8	25,5	71,7
Serbie et Monténégro	102 (km ²)	8,1	13,4	ND	ND	ND
Turquie	775	69,6	157	13,8	26,6	59,6

ND = Non disponible

Source : *Estado de la Producción más Limpia en los países del Plan de Acción para el Mediterráneo*, CAR/PP ;
Groupe de la Banque mondiale et GlobalEDGE.

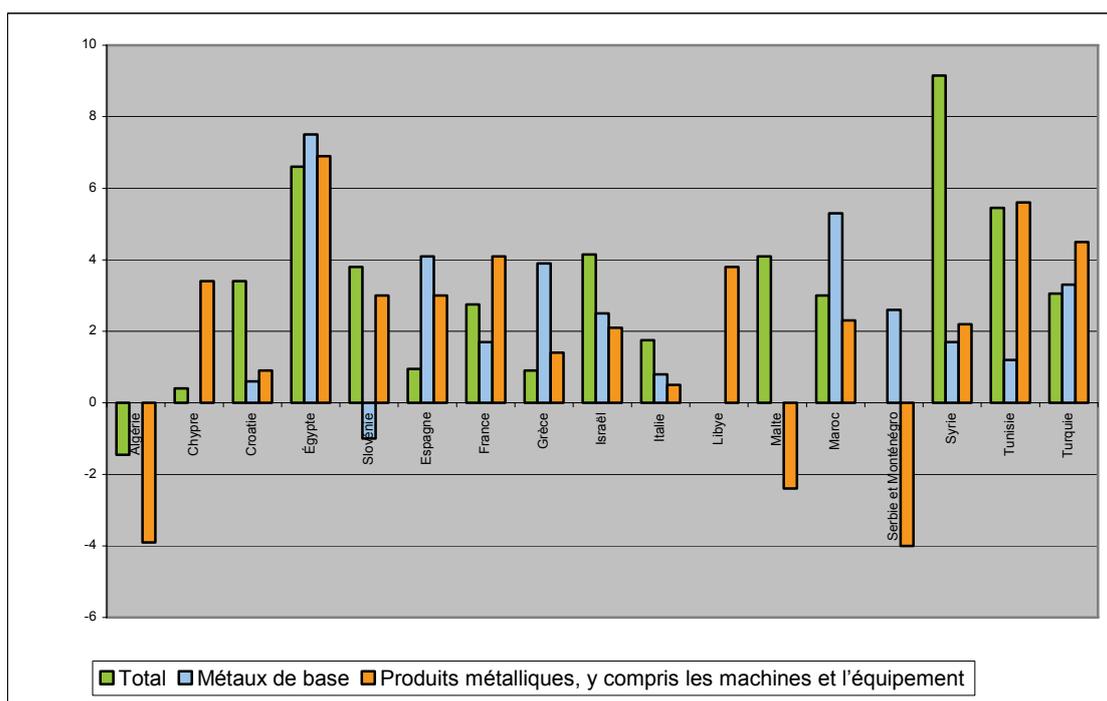
La représentativité du secteur métallurgique dans l'économie de chaque pays a été évaluée en utilisant les indicateurs suivants :

- Le taux de croissance annuel (AAGR) de la valeur ajoutée de manufacture (MVA)
- La structure de la valeur ajoutée de manufacture (MVA)
- Le nombre de travailleurs

Le schéma suivant montre le taux de croissance annuel de la valeur ajoutée de manufacture (période 1992 – 2002) de l'industrie de base des métaux et la fabrication de produits métalliques, y compris les machines et l'équipement, dans les pays du PAM. Nous avons utilisé comme indicateur le « Average annual real growth rate of MVA » (taux de croissance moyen annuel réel de la valeur ajoutée de manufacture) selon la classification industrielle décrite dans le « International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC), 2-digit level of revision 2⁷ ».

Schéma 24

LA CROISSANCE DE LA MVA CONCERNANT LES SECTEURS DE L'INDUSTRIE DE BASE DES METAUX ET LA FABRICATION DE PRODUITS METALLIQUES (Y COMPRIS LES MACHINES ET L'EQUIPEMENT) AU COURS DE LA PERIODE 1992 - 2002⁸



Source : Données extraites des statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.

Sur le schéma, on observe que, pendant la période comprise entre 1992 et 2002, les pays qui ont expérimenté une plus grande croissance de la valeur ajoutée de manufacture (MVA) de l'industrie de base des métaux sont l'Égypte, le Maroc, l'Espagne et la Grèce. Le secteur de fabrication de produits métalliques présente aussi une croissance de la MVA remarquable dans des pays tels que l'Égypte, la Tunisie, la Turquie et la France.

Ci-dessous, nous montrons le pourcentage de la valeur ajoutée de manufacture (MVA) des secteurs de l'industrie de base des métaux et de fabrication de produits métalliques par rapport au total des secteurs industriels des pays considérés, en suivant la même classification industrielle que celle

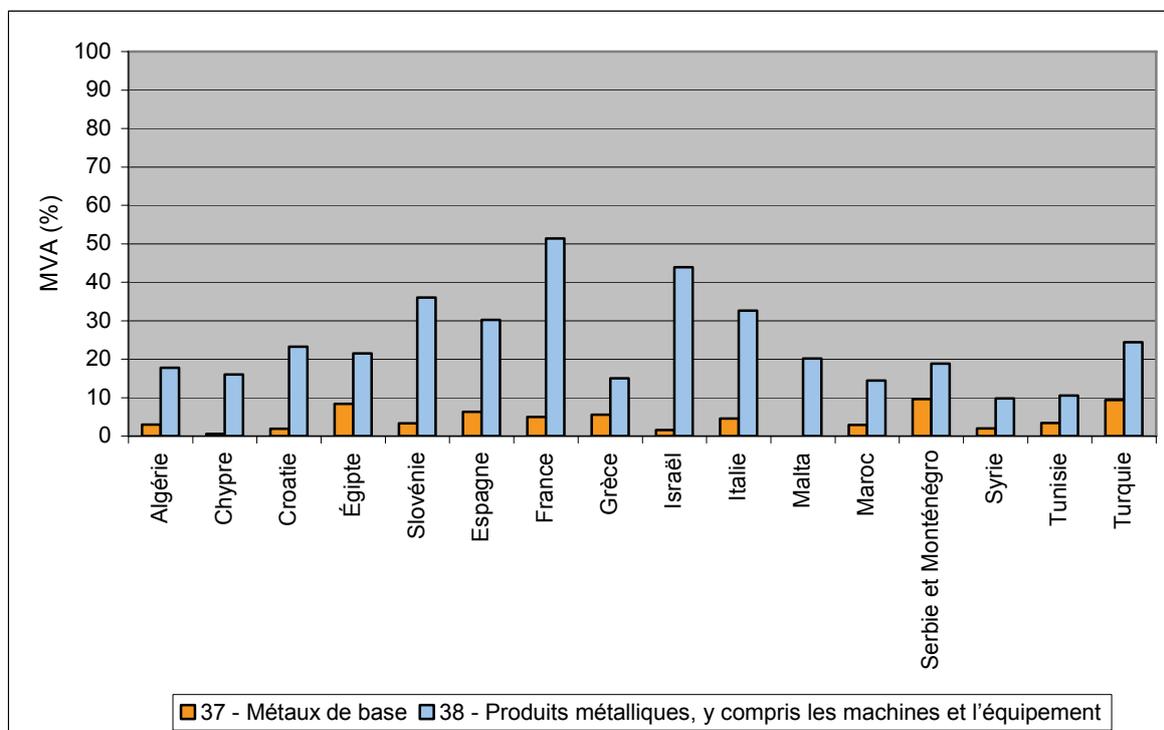
⁷ La classification distingue les secteurs suivants : 31 - Nourriture, boissons et tabac, 32 – Textiles, habillement, cuir et chaussures, 33 – Produits dérivés du bois, y compris les meubles, 34 – Papier, imprimerie et publication, 35 – Produits chimiques, pétrole, caoutchouc et produits plastiques, 36 – Produits minéraux non métalliques, 37 – Métaux de base, 38 – Produits métalliques, y compris les machines et l'équipement, 39 – Autres industries de manufacture.

⁸ On ne dispose pas de données de croissance de la MVA du secteur de l'industrie de base des métaux de l'Albanie, de la Bosnie-Herzégovine, de Chypre, du Liban, de la Libye, de Malte et de Monaco, ni de la croissance de la MVA du secteur de fabrication de produits métallurgiques en Albanie, Bosnie-Herzégovine, au Liban ou à Monaco ni de la croissance de la MVA totale de la Libye, de la Serbie et du Monténégro.

utilisée dans le schéma précédent. Cet indicateur permet d'interpréter le poids de chaque secteur dans le tissu industriel du pays.

Schéma 25

LA CONTRIBUTION DU SECTEUR METALLURGIQUE DANS LA VALEUR AJOUTEE DE MANUFACTURE DE CHAQUE PAYS



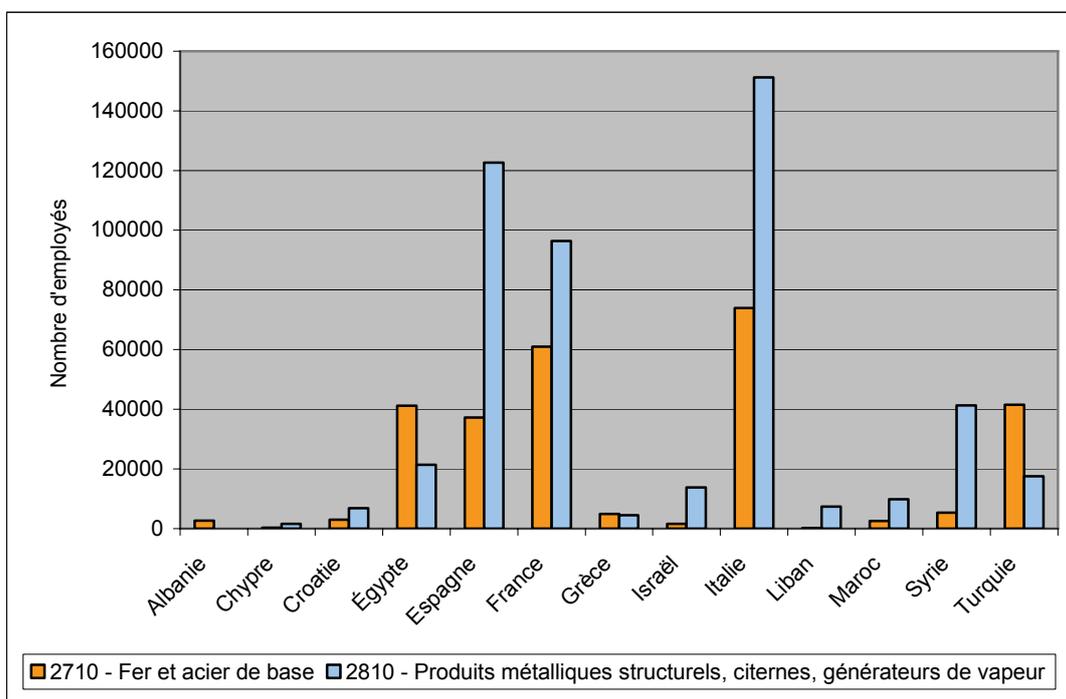
Source : Données extraites des statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.

Le graphique montre comment le secteur de fabrication de produits métalliques est, dans le secteur métallurgique en général, celui qui contribue le plus à la MVA de chaque pays, face à une valeur plus réduite de l'industrie de base des métaux. En général, les pays du nord de la Méditerranée sont ceux qui possèdent un pourcentage plus élevé de la MVA attribué au secteur métallurgique (France, Italie et Espagne), cependant, Israël et la Slovénie se détachent aussi avec des valeurs plus hautes pour le secteur de la fabrication de produits métalliques, deuxième et troisième valeur plus élevées respectivement. Des pays du sud et de l'est de la Méditerranée, tels que l'Égypte, la Turquie, la Croatie et Malte, présentent aussi des niveaux élevés de contribution du secteur de la fabrication de produits métalliques à la MVA du pays, supérieurs à 20 %.

D'autre part, le nombre d'employés est aussi un indicateur additionnel de la production industrielle, le schéma suivant reprend cette donnée dans les pays suivants de la Méditerranée : l'Albanie, Chypre, la Croatie, l'Égypte, l'Espagne, la France, la Grèce, Israël, l'Italie, le Liban, le Maroc, la Syrie et la Turquie. Dans ce cas, nous avons suivi la classification du « International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC), 3- and 4-digit levels of revision 3 ».

Schéma 26

LE NOMBRE D'EMPLOYES DANS LE SECTEUR METALLURGIQUE



Source : Données extraites des statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.

Le schéma montre comment les pays les plus développés de la Méditerranée (Espagne, France et Italie) sont ceux qui présentent un nombre plus élevé d'employés dans ce type d'industrie. Il faut cependant souligner le cas de pays tels que l'Égypte, la Syrie et la Turquie où ce secteur gagne du terrain.

ÉE

PRE



**Centre d'activités régionales
pour la production propre (CAR/PP)**

París, 184, 3ª planta - 08036 Barcelona (Espagne)

Tél. : + 34 93 415 11 12 - Fax : + 34 93 237 02 86

Courriel : cleanpro@cema-sa.org

<http://www.cema-sa.org>