

MeHSIP-PPIF

PHASE II

DÉPOLLUTION INTÉGRALE DU LAC DE BIZERTE - TUNISIE

*Évaluation technique des options de dépollution
d'El Fouladh*

TA 2008/S 140-186933
(RG/2008/01/FSF)

Juin 2012

MeHSIP-PPIF

Programme d'investissement pour l'élimination
des zones sensibles en Méditerranée
*Mécanisme d'aide à la préparation et à la mise en
œuvre des projets*



A TA operation funded by the
European Union - FEMIP Support Fund



Étude de faisabilité : Dépollution intégrale du Lac de Bizerte

Nom du projet sous-jacent :	MeHSIP-PPIF Programme d'investissement pour l'élimination des zones sensibles en Méditerranée
Date	Juin 2012
Version	

Équipe d'experts : Dave Edwards

Responsable du projet : M. Woolgar

RÉVISION	DATE	DESCRIPTION	PRÉPARÉ PAR (RÉDACTEUR)	RÉVISÉ PAR
0	28/06/2012	Évaluation technique des options de dépollution d'El Fouladh	Dave Edwards	N. Marchesi, G. Akl, T. Young
1				
2				

Document N° : 5080309/30/DG/091

Limitation de responsabilité

Le programme est financé au titre du Fonds d'assistance technique de la FEMIP. Ce Fonds utilise des aides non remboursables accordées par la Commission européenne pour appuyer l'activité d'investissement que la BEI déploie dans les pays du sud de la Méditerranée, en assistant les promoteurs au cours des différentes étapes du cycle des projets.

Les auteurs assument pleinement la responsabilité du contenu de la présente brochure. Les opinions exprimées ne reflètent pas nécessairement celles de l'Union européenne ou de la Banque européenne d'investissement.

TABLE DES MATIÈRES

1. SOMMAIRE EXÉCUTIF	1
1.1 INTRODUCTION	1
1.2 REMARQUES GÉNÉRALES	1
1.3 COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS.....	2
1.4 RÉCAPITULATIF DES OPTIONS TECHNIQUES PROPOSÉES ET DES RECOMMANDATIONS..	4
2 PRÉAMBULE.....	8
3 ACIÉRIE D'EL FOULADH.....	9
3.1 INTRODUCTION	9
3.2 FONDERIE	9
3.2.1 FOURS ÉLECTRIQUES	9
3.2.2 FOUR POCHE D’AFFINAGE (FPA).....	11
3.2.3 COULÉE CONTINUE.....	12
3.2.4 RÉFRACTAIRES	13
3.2.5 LAMINOIR DE RONDS.....	13
3.2.6 LAMINOIR DE PRODUITS TRÉFILÉS	14
3.3 TRÉFILERIE ET INSTALLATION DE FABRICATION DE PROFILÉS	14
3.3.1 TRÉFILERIE (DTF).....	15
3.3.2 INSTALLATION DE FABRICATION DE PROFILÉS (DSM).....	15
3.4 AUTRES INSTALLATIONS	15
3.5 RESSOURCES HUMAINES	18
3.6 ENTRETIEN GÉNÉRAL.....	19
4 ÉVALUATION DES OPTIONS PROPOSÉES DE DÉPOLLUTION	21
4.1 FICHE PROJET 1 - REJETS ATMOSPHÉRIQUES.....	21
4.1.1 REMARQUES FINALES SUR LA FP1	22
4.2 FICHE PROJET 2 -DÉCHETS INDUSTRIELS LIQUIDES.....	23
4.2.1 REMARQUES FINALES SUR LA FP2	24
4.3 FICHE PROJET 3 - DÉCHETS SOLIDES.....	24
4.3.1 REMARQUES FINALES SUR LA FP3	27
5 AUTRES CRITÈRES ENVIRONNEMENTAUX	29
5.1 RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE	29
5.2 RÉUTILISATION OU RECYCLAGE DE L’EAU	29
5.3 ÉMISSIONS DE CO ₂	29
6 TECHNOLOGIES ÉMERGENTES.....	30
7 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	31

ABRÉVIATIONS

WWTP	Installation de traitement des eaux usées
DTF	Installation de tréfilerie
DSM	Installation de production de profilés structuraux
FAE	Four (à arc) électrique
FPA	Four poche d'affinage
OEM	Original Equipment Manufacturer

1. SOMMAIRE EXÉCUTIF

1.1 INTRODUCTION

MeHSIP-PPIF a employé les services d'un spécialiste international des activités, de la gestion générale, de l'ingénierie, de l'expertise conseil et de la gestion de projet dans le secteur de la sidérurgie pour la fourniture d'un avis expert sur la situation actuelle dans l'aciérie El Fouladh qui se trouve à proximité de M. Bourguiba, sur les rives du Lac de Bizerte. Cet expert a pour mission d'étudier le fonctionnement de cet établissement, en prêtant une attention particulière aux mesures qui sont envisagées pour rectifier et maîtriser l'environnement et qui figurent dans les trois documents (Fiches 1, 2 et 3) qui ont été préparés par l'expert local en dépollution MeHSIP-PPIF dans le cadre du projet de "dépollution intégrale du Lac de Bizerte", en Tunisie.

Cet expert international et des experts locaux ont visité cette aciérie le vendredi 4 mai 2012. Cette équipe, lors de cette visite guidée des installations, était accompagnée d'un représentant de la direction d'El Fouladh.

L'expert n'a pas pu passer en revue les détails opérationnels des activités de fonte, coulée et laminage dans cette aciérie car ces informations n'étaient pas disponibles lors de cette visite. La direction générale et la direction des opérations n'ont pas pu rencontrer cet expert du fait de leur charge de travail. De ce fait, les commentaires portant sur l'exploitation et la gestion d'El Fouladh sont basés sur ce qui a pu être vu pendant cette visite, et sur les discussions avec des membres du personnel du service des projets durant cette même journée.

1.2 REMARQUES GÉNÉRALES

Aujourd'hui, El Fouladh est un établissement sidérurgique qui a une capacité annuelle d'environ 250 000 tonnes et qui fabrique des produits tréfilés et des ronds à béton destinés à l'industrie locale du Bâtiment. La procédure employée est la suivante : de la ferraille en acier est mise en fusion dans deux petits fours électriques, puis l'acier liquide ainsi produit est conditionné dans un four à louche d'affinage avant d'être coulé en petites billettes dans l'une des trois machines de coulée continue à deux lignes.

Ces billettes sont alors laminées dans l'un des deux petits laminoirs relativement anciens pour obtenir des ronds à béton de 8 à 25 mm de diamètre ou des bobines de produits tréfilés lisses (poids de chaque bobine : 385 kg) de 5,5 à 10 mm de diamètre.

Le niveau actuel des opérations de fonderie se caractérise par une forte consommation d'énergie, une faible productivité et un faible rendement. Cette fonderie produit environ la moitié de sa capacité nominale et cela crée des problèmes opérationnels au niveau des laminoirs du fait d'une alimentation insuffisante en billettes.

Sur ce même site, il y a également deux autres installations sans rapport. La première, DTF, importe des tréfilés dans des chimies sidérurgiques que ne fabrique normalement pas la fonderie puis étire les tiges pour produire du fil mince galvanisé, cuivré ou huilé qui est conditionné et vendu à l'intérieur de la Tunisie pour assurer un large éventail d'utilisations. La deuxième, DSM, fabrique des structures pour pylônes qui sont mises en forme et soudées en se servant de tréfilés, barres et petits profilés structurels importés, avant d'être galvanisés. Ces structures s'utilisent en général pour soutenir les câbles électriques des lignes haute tension. En dehors du fait important que les activités des établissements DTF et DSM entraînent des volumes d'effluents, aucune analyse de leurs opérations ne s'est avérée nécessaire.

Du point de vue écologique, il y a deux problèmes principaux à résoudre :

- Les déversements incontrôlés d'effluents et eaux d'égouts dans le Lac de Bizerte
- La décharge par dispositif à ciel ouvert des fumées rejetées par le four électrique.

De l'avis de l'expert, il faut remédier immédiatement et de manière complète à ces deux problèmes pour protéger la santé de la communauté locale et celle du personnel de l'aciérie.

D'un point de vue global, cet établissement se caractérise par un mauvais rangement et stockage des matériaux, par une forte détérioration de ses bâtiments, collecteurs d'eaux pluviales et équipements. **Il est peu probable que la tentative d'incorporation d'une nouvelle et quelque peu sophistiquée technologie de contrôle de l'environnement va apporter des résultats toujours fiables tant que la gestion, l'exploitation et l'entretien des équipements existants ne feront pas preuve d'un niveau de maîtrise compatible avec l'intégration à l'usine de technologies nouvelles qui n'ont pas encore vraiment fait leurs preuves.**

Cet établissement emploie un personnel très largement supérieur, en nombre, à celui d'entreprises européennes similaires (1 370 personnes) et bien que cela constitue probablement une charge économique sur cette aciérie, dans de nombreux pays en voie de développement, cette situation a été transformée en un avantage par la direction de l'entreprise qui se sert des hommes-heures disponibles pour maintenir un cadre de travail propre, sûr et bien organisé. Malheureusement, ce n'est pas le cas à El Fouladh.

1.3 COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS

MeHSIP-PPIF a examiné avec le plus grand soin les nombreux secteurs qui ont besoin de s'améliorer. Il n'est pas possible de traiter en même temps tous ces points et c'est pour cela que, d'après nous, la brève liste suivante devrait permettre d'obtenir un maximum de progrès et d'amélioration à court et moyen termes :

- a. En priorité, lancer le processus de préparation technique, d'acquisition, de mise en service et de mise en œuvre des technologies requises de contrôle pour bien maîtriser les effluents liquides et

- les fumées des fours électriques (**Fiche Projet 1**). La réalisation correcte de ce processus devrait prendre entre 18 et 24 mois.
- b. Traiter tous les effluents industriels liquides provenant des activités principales et d'autres installations (DTF, DSM) et éviter les décharges dans le lac (**Fiche Projet 2**).
 - c. Ramener les stocks de ferraille à un niveau acceptable et réorganiser ces stocks de façon à créer une aire bien conçue et bien construite de manutention de la ferraille (**Fiche Projet 3**).
 - d. Procéder à des investigations des plus complètes du système d'égouts et d'adduction d'eau domestique. Installer le matériel nécessaire de déshuilage et reconnecter le circuit de décharge au réseau municipal des eaux sanitaires (**Fiche Projet 3**).
 - e. Introduire un associé venant de l'extérieur sur le plan opérationnel et lui confier un large éventail de responsabilités pour aider la direction actuel à relever le niveau des installations et atteindre un standard acceptable sur le plan des opérations et sur celui du rangement. Ce groupe venant de l'extérieur devra avoir un accès direct au gouvernement et être en mesure de demander le remplacement des membres de la direction et des employés qui ne sont pas capables de travailler de manière performante ou qui ne souhaitent pas changer.
 - f. Lancer un programme de démolition de tous les bâtiments et équipements obsolètes. Bien souvent, la valeur de la ferraille produite lors d'une telle procédure couvre les coûts engagés et les mesures nécessaires de réparation de l'environnement.
 - g. Utiliser quelques-uns des nombreux employés pour améliorer le rangement général (et contrôler les broussailles) sur tout le site et améliorer l'aspect visuel de l'établissement et signaler que le "vent du renouveau" souffle.

L'expert estime que cette liste initiale d'actions est essentielle pour réaliser l'objectif de dépollution de l'environnement local et pour ramener un contrôle opérationnel correct dans l'établissement.

Il y a plusieurs autres initiatives qu'il faudra prendre pour transformer cet établissement en une aciérie moderne et bien gérée mais elles porteront essentiellement sur la productivité et l'efficacité de ces installations, c'est-à-dire des éléments qui ne font pas vraiment partie des interventions proposées.

Chaque option de dépollution proposée sur les 3 Fiches Projet a été examinée et évaluée par l'expert et comparée aux meilleures pratiques internationales et, le cas échéant, des recommandations appropriées ont été présentées pour les changements à apporter. Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif détaillé de cette évaluation.

1.4 RÉCAPITULATIF DES OPTIONS TECHNIQUES PROPOSÉES ET DES RECOMMANDATIONS

ZONE DE L'USINE / ÉTAT	OPTIONS TECHNIQUES PROPOSÉES PAR EL FOULADH	COÛTS ESTIMÉS EN EUROS 1	COMMENTAIRES ET MODIFICATIONS SUGGÉRÉES	COÛTS RÉVISÉS	NIVEAU DE RÉDUCTION DE LA POLLUTION
Fiche Projet N°1					
Contrôle des émissions présentes dans l'air	<p>Option A1: Incorporation d'un dispositif de filtrage à sacs dans les circuits principaux de dégazage des fours électriques. Ajout d'un circuit supplémentaire de contrôle des fumées dans le four poche d'affinage</p> <p>Option2 : Identique à l'Option A1 mais avec en plus une hotte à verrière montée sur le toit pour retenir les émissions fugitives des 2 fours électriques</p>	<p>4 645 000</p> <p>5 415 000</p>	<p>L'Option A1 qui est décrite dans la FP1 n'est pas une solution valide pour résoudre ce problème car elle ne traite pas le sujet des fumées secondaires (fugitives).</p> <p>L'Option A2 est en partie correcte, bien qu'elle ne porte pas sur les problèmes de fumées MHS. De même, elle semble suggérer 3 dispositifs distincts de filtres à sacs et à cheminées (un par FAE et un pour le FPA). Cette solution potentielle n'est absolument pas recommandée.</p> <p>L'Option A2 doit être modifiée, comme indiqué sur le schéma fourni (voir page 27) pour recueillir les émissions principales et secondaires</p>	<p>Cette estimation est probablement faible vu, en particulier, les incréments relativement faibles entre les 2 options, en dépit de l'ajout d'une saisie des fumées secondaires. L'estimation pour l'Option 2 semble proche des 8 M€.</p>	<p>L'Option A2, avec la modification suggérée, pourrait réduire les émissions de poussières d'environ 1 000 mg/Nm³ pour les ramener au-dessous de la limite réglementaire de 20 mg/Nm³ (granulométrie des particules < 10 microns), à condition de recevoir des garanties appropriées de performances du fournisseur d'équipements d'origine.</p> <p>Les émissions de CO seront inférieures à 400 ppM (à l'heure actuelle, >400)</p> <p>Il n'y a pas de données à jour</p>

¹ Aucune base d'estimation n'a été fournie et il en va de même des coûts unitaires typiques de la région tunisienne de Bizerte en ce qui concerne les projets envisagés. L'expert recommande d'obtenir des estimations valables sur le plan commercial auprès de 3 soumissionnaires qualifiés afin de vérifier les investissements requis.

ZONE DE L'USINE / ÉTAT	OPTIONS TECHNIQUES PROPOSÉES PAR EL FOULADH	COÛTS ESTIMÉS EN EUROS 1	COMMENTAIRES ET MODIFICATIONS SUGGÉRÉES	COÛTS RÉVISÉS	NIVEAU DE RÉDUCTION DE LA POLLUTION
			provenant de la fonderie dans un dispositif commun de filtrage à sacs avant la mise à l'air libre (c'est la seule BACT reconnue pour l'exploitation de FAE au monde).		pour les émissions de SO _x ou de NO _x mais les nouveaux équipements vont offrir des niveaux garantis <300 ppM pour le SO _x et <250 ppM pour le NO _x
Fiche Projet N°2					
Traitement des flux d'effluents en phase liquide	<p>Option 1 : Traitement des effluents de tréfilage et de galvanisation uniquement</p> <p>Option 2 : Système complet de traitement de tous les effluents en phase liquide</p>	<p>550 000</p> <p>1 140 000</p>	<p>Solution partielle et insuffisante ; ne prend pas en compte les effluents sidérurgiques et les ruissellements d'eaux pluviales. Inacceptable</p> <p>Solution acceptable :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Effluents chimiques du tréfilage ; les sections structurelles et les installations de traitement de l'eau sont regroupées et traitées comme indiqué dans la proposition Proserpol – L'eau de procédé de la fonderie est traitée dans un système semblable à celui de la solution Proserpol mais spécialement conçu pour les polluants à base d'hydrocarbures de la fonderie 	Coût estimé plus faible pour une solution plus complète que celle de l'Option2	<p>Veillez consulter la FP2, section 5.2 qui contient un tableau des niveaux actuels de pollution et les normes en vigueur.</p> <p>La solution Proserpol semble garantir une compatibilité avec les normes et procédures BAT actuelles de traitement de l'eau à des niveaux égaux ou inférieurs aux valeurs précisées dans la Norme NT 106 002</p>

ZONE DE L'USINE / ÉTAT	OPTIONS TECHNIQUES PROPOSÉES PAR EL FOULADH	COÛTS ESTIMÉS EN EUROS 1	COMMENTAIRES ET MODIFICATIONS SUGGÉRÉES	COÛTS RÉVISÉS	NIVEAU DE RÉDUCTION DE LA POLLUTION
Fiche Projet #3					
Composante A Reconnexion au réseau local du tout à l'égout pour les eaux d'égout et les eaux usées domestiques	Fourniture d'un matériel de déshuilage pour que les flux d'eaux usées respectent les normes des autorités locales	450 000	Le programme proposé et la procédure de mise en œuvre sont acceptables pour éviter les déversements dans le lac	Les coûts estimés semblent raisonnables	La séparation de l'huile va ramener les contaminants à des niveaux considérés comme acceptables par les autorités locales en ce qui concerne les décharges dans leur réseau de tout à l'égout
Composante B Collecte et traitement des ruissellements d'eaux pluviales	Remise en état des drains d'eaux pluviales ; installations de grilles filtrage, de déshuileurs et de filtres à sable	300 000	Solution acceptable et conforme aux pratiques modernes. Sans commentaire	Les coûts estimés semblent raisonnables	Figure dans les garanties de performances du fournisseur de l'installation de traitement de l'eau. Au niveau ou au-dessous des valeurs des normes réglementaires, comme ci-dessus
Composante C Améliorations pour la manutention et le stockage de la ferraille	Fourniture d'une zone bétonnée pour le stockage de la ferraille et engins mobiles pour le stockage et la manutention de la ferraille	1 300 000	Cette approche est la meilleure pratique. Ruissellements d'eaux et d'hydrocarbures inclus dans le système pour eaux pluviales	Les coûts estimés semblent inhabituellement bas (environ 23 €/m ³ de béton coulé, y compris les excavations, le coffrage et les barres d'armatures)	Les eaux de ruissellement sont traitées comme indiqué ci-dessus, en conformité avec les normes réglementaires existantes, avant leur décharge
Composante D Stockage et traitement des	Fourniture d'une zone à plancher imperméable pour la	650,000	Solution acceptable à court terme pour la conservation du laitier et pour éviter les déversements incontrôlés	Les coûts estimés semblent raisonnables	Eaux de ruissellement traitées comme indiqué ci-dessus

ZONE DE L'USINE / ÉTAT	OPTIONS TECHNIQUES PROPOSÉES PAR EL FOULADH	COÛTS ESTIMÉS EN EUROS 1	COMMENTAIRES ET MODIFICATIONS SUGGÉRÉES	COÛTS RÉVISÉS	NIVEAU DE RÉDUCTION DE LA POLLUTION
laitiers sidérurgiques	conservation du laitier		<p>dans la décharge municipale proche de l'usine</p> <p>Il faut un programme de traitement et de vente de laitier pour éviter la nécessité d'un stockage longue durée sur ce site.²</p> <p>Il faudrait chercher à obtenir les services d'une entreprise spécialisée pour assurer cette fonction sur place (par exemple, Harsco)</p>	Si ce n'est pas possible, l'alternative sera la possibilité de déverser ces laitiers dans des zones clairement délimitées de la décharge	Le stockage longue durée des laitiers pose un problème persistant en ce qui concerne les risques de ruissellement d'eau. Comme indiqué lors des discussions, il faut identifier l'autre utilisation pour enlever les laitiers de l'usine
Composante E Stockage et collecte de la calamine de laminoir	Fourniture d'une zone à plancher imperméable pour la conservation de la calamine	180 000	<p>Cette approche est normale et constitue la meilleure pratique. La calamine fait l'objet d'un drainage avant d'être vendue à des tierces parties</p> <p>Les ruissellements d'eau et d'hydrocarbures sont inclus dans le système pour eaux pluviales</p>	Les coûts estimés semblent raisonnables	Les ruissellements d'eau seront recueillis dans un système commun et traités de manière à respecter les normes réglementaires, comme indiqué ci-dessus

² Les laitiers des fours électriques sont hydratés, broyés, passés dans des cribles granulométriques puis vendus à des tierces parties pour des utilisations qui sont celles figurant dans la FP3. Cela n'a pas été le cas en Tunisie et, par conséquent, il faudra éduquer la clientèle pour qu'elle accepte ces résidus. En général, les principaux utilisateurs se trouvent dans les secteurs du ciment et du Bâtiment.

2 PRÉAMBULE

Sous la direction du responsable du projet de "Dépollution intégrale du Lac de Bizerte", un expert en activités sidérurgiques a été nommé pour passer en revue la situation actuelle dans l'aciérie El Fouladh, en Tunisie. Cet expert a visité cet établissement et examiné les opérations actuelles en vue de fournir des commentaires techniques en tant qu'expert sur le programme planifié d'amélioration de l'environnement (dépollution) qui a été formulé par MeHSIP-PPIF, l'expert local en dépollution industrielle engagé pour ce projet, avec la collaboration de la direction d'El Fouladh.

Les deux experts de MeHSIP-PPIF ont visité El Fouladh, le vendredi 4 mai. Après une réunion préliminaire à laquelle ont participé M. Fathi Chtioui et M. Adel Ben Dhiab, M. Ben Dhiab a guidé les experts lors d'une visite approfondie du site de l'aciérie et de ses installations. L'expert a exprimé le souhait de rencontrer des représentants de la Direction de l'aciérie et de la Direction des opérations lors de cette visite mais les personnes concernées n'étaient pas disponibles à cette date.

Le rapport suivant est basé sur les observations faites lors de cette visite, les trois documents préparés par M. Rached Ben Azouz (Fiches Projet 1, 2 et 3) et les données orales obtenues durant la réunion préliminaire avec des membres du personnel d'El Fouladh.

3 ACIÉRIE D'EL FOULADH

3.1 INTRODUCTION

El Fouladh est un complexe sidérurgique dont la construction remonte au milieu des années 1960, période durant laquelle l'acier liquide s'obtenait en faisant appel à une procédure conventionnelle employant des hauts fourneaux et l'oxygénation de base. La production faisant appel à cette méthode a été arrêtée en 2003. Les installations, qui sont aujourd'hui totalement redondantes, de ces activités à hauts fourneaux et à oxygénation de base sont toujours en place et ne semblent pas avoir été touchés depuis leur fermeture.

Aujourd'hui les activités sidérurgiques se limitent à deux petits fours électriques, un four poche d'affinage et trois machines de coulée continue à deux lignes de faible hauteur (4 mètres de rayon) qui produisent des billettes en acier de 120 mm de diamètre, en tronçons de 3,5 m de longueur. Ces billettes sont ensuite transférées au four de préchauffage d'un des deux laminoirs pour y subir un réchauffage suivi d'un laminage qui les transforme en ronds déformés (ou à béton) ou en produits tréfilés lisses. Ces ronds ou tréfilés sont vendus directement sur marché tunisien en tant que produit fini de cette aciérie.

Il y a deux autres installations de production sur ce même site :

1. Une installation de tréfilage (DTF) qui fait appel à des ronds importés essentiellement de qualités à faible teneur en carbone (apparemment des qualités AISI 1006 et 1008). Ce fil est soit huilé, soit galvanisé puis subdivisé en bobines plus petites et conditionné pour la vente. Aucun traitement en aval de ce fil (par exemple, production de fils barbelés, clous ou fixations) n'a lieu dans cette installation.
2. La deuxième a des installations de réalisation d'éléments structurels préfabriqués (DSM). À partir de produits tréfilés, de ronds et de petits profilés structurels, cet établissement forme et soude des composants structurels dans son atelier mécanique puis les transfère à un deuxième atelier qui en assure la galvanisation. Le principal produit serait une gamme de petits pylônes électriques destinés à la société nationale tunisienne de l'électricité.

3.2 FONDERIE

3.2.1 FOURS ÉLECTRIQUES

Le FAE₁ a une configuration relativement ancienne et utilise un manipulateur à lance de produits consommables (de type BSE) pour injecter de l'oxygène et du carbone avant de couler l'acier dans la poche par un entonnoir de coulée (du type théière). Il est conçu pour assurer la coulée d'environ 22 tonnes d'acier liquide par chauffe mais il semblerait qu'il ne coule qu'entre 18 et 20 tonnes. Cela a été

confirmé par le faible niveau d'acier liquide présent dans les poches utilisés dans cette fonderie lors de la visite.

Le FAR₂, installé en 2006, a une conception plus récente et comporte des modules combinés lances + injection implantés sur des parois latérales pour l'ajout de carbone, gaz et oxygène afin d'effectuer des coulées qui passent par une valve à obturation coulissante (conception EBT) qui est fixée sous la partie avant du four.

Ces deux fours ont un refroidissement par eau au niveau des panneaux latéraux et du toit, ainsi qu'un raccord coudé d'extraction de fumées ("quatrième trou") au niveau du toit et un transformateur d'une puissance nominale de 18 MVA qui fournirait un arc de 500 V maximum.

De la ferraille est chargée dans ces fours par des godets à ferraille de type "clamshell". Normalement, il semblerait qu'une charge complète s'obtient avec deux godets bien que cela dépende de la taille de la ferraille et de sa densité. Il faut parfois jusqu'à quatre godets.

Concast, qui est le fournisseur du four 2 et qui a également participe à la modernisation du four 1, a calculé, comme indiqué ci-dessous, les capacités de production annuelle d'acier liquide, sur la base d'une disponibilité correspondant à 7 200 heures de fonctionnement par an.

	FAE 1	FAE 2	Total	2011 - Réel
Acier liquide/an	105 000	126 720	231 720	120 000
kWh/tonne	510	513	512	> 700
Électrode kg/tonne	s/o	3.4	---	> 5

Comme on peut le voir, l'utilisation moyenne des fours se situe juste au-dessus de la moitié (52%) de la capacité nominale des fours.

Il est fréquent, dans les fonderies qui subissent des retards majeurs de production, que les consommations spécifiques en électricité, électrodes, oxygène et gaz subissent de fortes augmentations du fait des durées plus longues que l'acier liquide passe dans le four.

Ces deux fours transfèrent leurs fumées, par le biais d'un raccord coudé refroidi à l'eau, dans leur chambre spéciale de dilatation (où le CO résiduel est normalement converti en CO₂ et où se déposent les particules solides présentes dans ces fumées), avant d'être acheminées dans un court tronçon refroidi par de l'eau puis de traverser une conduite non refroidie et d'aboutir à la roue à aubes et à la cheminée qui assure la décharge sans aucun contrôle des gaz bruts de four et des poussières. Cette pratique n'est pas autorisée dans la plupart des pays car ces poussières contiennent des métaux lourds et se rangent dans la catégorie des déchets dangereux.

Le laitier, sous-produit nécessaire du procédé sidérurgique, tombe par la trappe à laitier qui se trouve dans les fours au sol (en ce qui concerne le FAE₂) ou dans un conteneur rectangulaire à laitier (en ce qui concerne le FAE₁). Ce laitier y est ensuite enlevé par des chargeuses frontales qui l'empilent à l'extérieur du bâtiment. Il s'y refroidit avant d'être chargé sur des camions et transporté à une zone isolée du site et déversé sur le sol.

Une tension moyenne est fournie aux fours par un groupe principal à transformateurs qui est équipé d'un transformateur principal de 50 MVA. La tension de ligne s'élève à 90 kV et est transformée en une tension secondaire de 11 kV qui assure l'alimentation secondaire des fours. Ces dernières années, un compensateur de puissance réactive a été installé pour minimiser l'impact des fluctuations de tension (papillotement) sur le réseau électrique national du fait de la nature erratique typique de la charge des FAE. Ce compensateur a été fourni par ABB et il semblerait qu'il fonctionne bien et les chiffres communiqués indiquent des niveaux de papillotement de *1,4 unité de papillotement. Bien que ce niveau se situe au-dessus des normes européennes (1,0 habituellement), sur un plan pratique, il permet de bien contrôler le système et de maintenir ce niveau de papillotement au-dessus du niveau normalement accepté de "nuisance" de 1,7.

L'expert a été informé qu'aucun intervalle programmé n'est prévu entre deux interventions d'entretien préventif. Le cycle prévu pour les FAE entre deux changements de garnitures (remplacement des briques à laitier) se situait entre 5 et 6 semaines. À ce moment-là, le four est arrêté pendant 3 à 4 jours et l'entretien a lieu pendant cette période d'arrêt. Bien qu'il ne s'agisse pas d'un cycle normal permettant de garantir un fonctionnement fiable du matériel de fonderie, il faudrait procéder à une analyse détaillée des retards en fonderie pour déterminer si cette procédure est satisfaisante ou non.

L'implication d'une autonomie opérationnelle of 5 à 6 semaines pour les garnitures alors que le four effectue 6 ou 7 chauffés par jour correspond à moins de 300 chauffés pour ces garnitures. C'est très nettement au-dessous des normes de cette industrie (il est en effet fréquent d'obtenir plus de 800 chauffés) et c'est l'un des facteurs qui explique sans aucun doute la faible utilisation ce cette fonderie.

3.2.2 FOUR POCHE D'AFFINAGE (FPA)

La fonderie est équipée d'un seul FPA qui assure normalement trois fonctions dans le cadre des interventions de production d'acier, avant que la poche ne soit transférées aux machines de coulée.

- Homogénéisation et contrôle de la température
- Ajout d'agents d'alliage
- Désulfuration et contrôle des réactions chimiques.

Ce FPA est équipé d'un transformateur offrant une puissance nominale de 7 MVA, bien que cette puissance soit en fait limitée à 4 MVA lors des activités proprement dits. C'est conforme au fonctionnement normal d'un FPA car un réglage sur une puissance excessive provoquera des avaries prématurées sur la garniture réfractaire des parois de la poche.

On a signalé que la phase de désulfuration ne s'effectue pas dans le FPA de cette fonderie mais dans les FAE, ce qui constitue une procédure bien plus onéreuse et qui a pratiquement disparu lors de l'installation de FPA dans le monde entier. En réalité, il n'y a pratiquement pas d'émissions de SO₂ du fait de l'absence de combustion de fioul lourd et de l'emploi de GPL (voir ci-dessous).

Même avec une procédure de désulfuration, il est normal qu'un FPA consomme quelque 40 kWh/tonne d'énergie électrique. En 2011, la consommation à El Fouladh aurait été de l'ordre de 117 kWh/tonne. Cette forte consommation électrique implique que la consommation d'électrodes de FPA devrait elle aussi être forte.

3.2.3 COULÉE CONTINUE

Cette fonderie est équipée de 3 machines de coulée continue de faible hauteur (4 mètres de rayon). Chaque machine comporte 2 lignes de coulée de billettes carrées de 120 mm de côté à la cadence, paraît-il, de 2,4 m/min. Les billettes sont découpées à l'aide de chalumeaux oxygène-gaz en tronçons de 3,5 m de longueur, suivant les caractéristiques des fours de réchauffage des laminoirs.

Deux de ces machines ont été mises à niveau, ces dernières années, pour y inclure un contrôle automatique de niveau de moule mais, sur tous les autres plans, font appel à une conception vieille et démodée. Aucune de ces machines ne comporte de mécanisme de séquençage des poches comme, par exemple, une tourelle rotative ou des chariots d'acheminement de poches qui permettent de retirer une poche vide et de mettre en place une poche pleine sur le répartiteur, de façon à permettre la réalisation d'activités de coulée portant sur plusieurs poches, dans un ordre donné. Cela s'obtient, à El Fouladh, à l'aide de 2 ponts roulants électriques : le premier retire la poche vide et le deuxième remplace la poche pleine durant la période nécessaire pour vider l'acier liquide résiduel présent dans le répartiteur de la machine de coulée. Cet établissement a, par le passé, coulé jusqu'à 35 poches, l'une après l'autre, en procédant de cette manière, mais c'est une procédure risquée du fait du peu de temps pendant lequel le répartiteur peut continuer d'effectuer des coulées avant de faire l'objet d'un nouveau plein assuré par une poche contenant de l'acier frais. Aujourd'hui, ce type de série se limite à environ 3 poches.

Après discussion, il s'est avéré que la capacité en matière de coulée d'une machine est pratiquement égale à la capacité de production des deux fours. Chaque billette pèse 110 kg/m et, par conséquent, 2 lignes assurant des coulées à la cadence de 2,4 mètres/min donnent une vitesse d'évacuation de l'acier d'environ 528 kg/min.

Cela implique qu'une poche contenant 20 tonnes d'acier liquide se vide en environ 38 minutes, soit environ la moitié du cycle du FAE 2.

Sur la base des informations limitées disponibles, la vitesse d'exécution des lignes de coulée se situe entre 2,0 et 2,6 m/min et le rendement de transformation de l'acier liquide en billettes de qualité s'élève à 95% mais aucun des autres paramètres opérationnels n'est connu. Apparemment, ils doivent être communiqués par le service Opérations et le service Projets ne les connaissait pas.



Stockage de billettes froides au niveau du laminoir

Le profilé coulé est relativement carré mais de fortes rayures longitudinales sont visibles à la surface des billettes, ce qui indique qu'il faudrait améliorer l'entretien de la machine de coulée. Ces rayures risquent d'être transférées tout au long de la procédure de laminage et d'apparaître sous la forme de joints à la surface du produit laminé.

3.2.4 RÉFRACTAIRES

Il y a un petit bâtiment séparé dans lequel les poches et répartiteurs sont démontés, rééquipés en briques réfractaires puis préparés avant utilisation. Les poches et répartiteurs sont ensuite transférés de la fonderie au bâtiment des réparations par le biais d'un chariot électrique spécial. Les matériaux réfractaires usagés acides (alumine) et basiques (magnésie) sont recueillis puis amenés à des zones extérieures de décharge.

3.2.5 LAMINOIR DE RONDS

Le four de réchauffage est du type "pousseur" et fonctionne au fioul lourd. Les billettes froides sont poussées dans le four où elles font l'objet d'un réchauffage qui les amène à la température du laminoir. Elles en sont alors extraites, une par une, puis passent plusieurs fois suivant un parcours dit de "cross-country", par une série de 3 supports de laminage, et la réduction requise d'épaisseur que cela entraîne permet d'obtenir un rond dont les nervures sont normales (barres déformées ou ronds à béton) et dont le

diamètre se situe entre 8 et 25 mm. Les ronds vus dans la zone de stockage, qui avaient récemment été laminés (comme le montre la calamine grise propre sur leur surface) avaient une bonne qualité en surface, ainsi qu'un bon profilé et un bon aspect visuel.

La calamine lourde, dont on était en train d'effectuer l'enlèvement au-dessous du four de réchauffage, avait une épaisseur inhabituelle. C'est souvent dû à un séjour prolongé dans le four à des températures élevées en présence de l'atmosphère oxydante qui existe dans ce four. Le résultat net de ce calaminage important est une réduction du rendement de transformation des billettes en ronds.

3.2.6 LAMINOIR DE PRODUITS TRÉFILÉS

Le laminoir de produits tréfilés est différent du laminoir de ronds car il sort des articles laminés de plus petit diamètre. Le produit fini est en fait un fil rond et lisse qui est mis en bobines pesant environ 385 kg chacune (poids limité par celui des billettes). Les diamètres ainsi obtenus se situent entre 5,5 et 10 mm. Le fil ainsi laminé est disposé sous la forme d'une longue bobine sur un lit mobile de refroidissement avant d'être replacé dans une bobine compacte qui est ensuite comprimée et attachée en vue de son acheminement. Le jour de la visite, les deux laminoirs étaient arrêtés et il n'a pas été possible d'observer des activités de laminage.

La capacité indiquée pour ces laminoirs s'élèverait à 100 000 tpa pour le laminoir de produits profilés et à 150 000 tpa pour le laminoir de ronds. Ce total correspond à peu près à la capacité nominale de la fonderie et devrait permettre à cet établissement de disposer d'un potentiel de vente de 250 000 tpa sur une année complète. Nous croyons savoir que, périodiquement, des billettes doivent être importées en Tunisie pour permettre aux laminoirs d'éviter les contraintes posées par les performances limitées de la fonderie.

Les laminoirs modernes ont un conditionnement hydrométallurgique (refroidissement contrôlé en faisant passer chaque rond chaud dans des caissons d'eau), ce qui permet d'augmenter la résistance à la traction des produits laminés en modifiant la structure des cristaux du produit tréfilé brut. Les laminoirs d'El Fouladh ne disposent pas de cette fonctionnalité étant donné qu'ils sont d'un modèle ancien. De ce fait, la fonderie compense cette situation par des moyens chimiques : en augmentant la teneur en manganèse de l'acier dans le but d'obtenir la même résistance à la traction qui est nécessaire pour respecter les caractéristiques physiques que doivent avoir les articles produits.

3.3 TRÉFILERIE ET INSTALLATION DE FABRICATION DE PROFILÉS

On nous a indiqué que la tréfilerie et l'installation de fabrication de profilés sont des secteurs relativement autonomes d'El Fouladh. Leurs matières premières viennent d'importations et ils cherchent à rester compétitifs pour vendre leurs produits sur les marchés locaux. Ils se trouvent tous deux dans l'enceinte de l'aciérie, mais se situent à l'écart de l'usine principale.

3.3.1 TRÉFILERIE (DTF)

Des bobines de fils machines en acier à faible teneur en carbone sont importées. Elles sont stockées en plein air et sont déplacées, en fonction des besoins, par des chariots à fourches élévatrices équipés d'une tringle (nous avons noté divers endommagements sur certaines de ces bobines) et amenées à l'intérieur du bâtiment où elles font l'objet d'un décalaminage dans des bains d'acide froid. Ensuite, un lubrifiant sec y est passé juste avant que la procédure de tréfilage ne commence. Consulter la FP 2 qui contient un schéma et une description de cette procédure de décalaminage, nettoyage et traitement par ajout d'un fondant.

Après ce tréfilage (qui permet, en général, de passer d'un diamètre de 6 mm à un diamètre compris entre 1 et 2 mm), le fil est soit galvanisé, soit huilé puis découpé et enroulé sur des bobines plus petites et plus légères, avant d'être rangé dans des sacs en plastique hermétiquement scellés. Ces sacs sont disposés dans des conteneurs en carton et sont prêts à la mise en vente.

3.3.2 INSTALLATION DE FABRICATION DE PROFILÉS (DSM)

Des ronds lisses, des profilés légers et des fils machines en bobines sont importés. Ces produits sont mis en forme et soudés dans cette installation pour créer les structures dont ont besoin les clients. Ces structures sont ensuite galvanisées dans des bains de zinc en fusion après un nettoyage dans une zone de décapage acide. En général, ils sont ensuite formés en pylônes qui supporteront des câbles électriques de moyennes et basses tensions destinés aux consommateurs. Consulter la FP 2 qui contient un schéma et une description de cette procédure de décalaminage, nettoyage et traitement par ajout d'un fondant.



Pylônes types après galvanisation

3.4 AUTRES INSTALLATIONS

Cantine : Il y a une cantine centrale qui fournit des repas chauds aux employés et qui opère 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24. Le drainage en provenance de cette cantine aboutit dans le système de drainage des eaux pluviales et est évacué par un émissaire qui se déverse dans le lac.

Poste de pompiers et d'ambulance : Sur le plan extérieur, ce poste est en bon état et propre, mais nous ne sommes pas entrés dans ce bâtiment. Deux camions de pompiers et une ambulance étaient garés à l'extérieur.

Gaz de pétrole liquéfié et fioul lourd : Pour le moment, cet établissement n'est pas raccordé à un réseau de gaz naturel. Pour assurer les besoins de la fonderie, il y a une zone clôturée contenant deux cuves de stockage de GPL. Le ravitaillement est assuré par des camions citernes, en fonction des besoins. Ces installations étaient dans un état raisonnable lors de la visite, bien que les portails en acier ne fussent pas fermés à clé. Les deux fours de réchauffage des laminoirs fonctionnent pour le moment au fioul lourd.

On nous a signalé que d'ici 2 ans le gaz naturel sera disponible par un gazoduc dans toute l'usine et qu'il ne sera donc plus nécessaire de faire appel au GPL (qui est onéreux) ou au fioul (qui n'est pas souhaitable sur le plan écologique).

Installation de calcination de la chaux : La chaux est calcinée et transformée en CaO dans des installations sur place. La procédure employée consiste à placer du calcaire broyé et de granulométrie précise dans un four vertical puis d'y diriger un jet d'air chaud vers le haut, dans la colonne. La calcination qui en résulte réduit le calcaire et le transforme en chaux de qualité métallurgique qui s'utilise lors des opérations dans les FAE et le FPA en tant que fondant ou support d'affinage.



Cette procédure produit un volume considérable de fines de chaux qui sont normalement recueillies et vendues à un certain nombre d'industries locales (exemples : production de papier, engrais, fabrication de matières plastiques, pharmaceutique). Les installations de production de chaux d'El Fouladh sont opérationnelles mais mal entretenues, avec des piles énormes de fines de chaux qui sont jetées à même le sol, sans protection, dans la zone générale.



Four à chaux et bande de convoyage

Installations de traitement de l'eau : Cette aciérie obtient l'eau de traitement dont elle a besoin grâce à des puits (85%) et une alimentation commerciale par canalisations (15%). L'eau, à son arrivée, est conservée dans un bassin carré avant son utilisation. Apparemment, l'eau des puits est très dure et doit être traitée avant de pouvoir être utilisée. Le procédé employé consiste à ajouter du CaO pour précipiter les carbonates de calcium et de magnésium et à ajouter du chlorure ferrique, en tant que flocculant, pour précipiter les carbonates. La FP2 contient une description plus complète de cette procédure.

Les résidus (essentiellement de la chaux) sont renvoyés au bassin, comme le montre clairement la photographie suivante.



Vue par Google Earth de l'installation de traitement de l'eau et de son bassin

3.5 RESSOURCES HUMAINES

Bien que l'expert, durant la visite, n'ait pas été en mesure de passer en revue cette facette des opérations, nous avons été informés que cet établissement emploie un total de plus de 1 370 personnes. D'après les normes européennes modernes, c'est à peu près trois fois plus que le nombre de personnes qu'emploierait une installation de ce type exploitée de manière efficace.

Néanmoins, nous croyons savoir que les réalités de la politique tunisienne et certains problèmes hérités de la période, par le passé, d'exploitation de hauts fourneaux sont probablement impliqués et que, du fait des niveaux de salaires relativement faibles qui existent, cette main-d'œuvre excessive ne constitue pas un sujet majeur d'inquiétude.

Ce qui surprend, c'est que bien qu'il y ait de nombreux employés, l'état général, le rangement et l'entretien dans cet établissement et dans ses environs n'est pas bien meilleur que celui qui a été observé ; cela pourrait se faire en utilisant correctement cette main-d'œuvre excessive.

3.6 ENTRETIEN GÉNÉRAL

Les zones qui ne sont pas occupées par les installations de production sont entièrement recouvertes ou presque de ferraille ou de résidus sidérurgiques. Il y aurait, paraît-il, quelque 200 000 tonnes de ferraille – ce qui est suffisant pour assurer pendant plus d'un an les besoins actuels de l'aciérie à son niveau actuel d'activités. Ces tonnes se sont accumulées sur le terrain et la majorité de cette ferraille est vieille de plusieurs années et se détériore par les procédés naturels que sont l'oxydation et la lixiviation des huiles et graisses éventuellement présentes, sous l'effet des intempéries et des conditions climatiques. Dans des installations normales tenant compte des investissements et de la gestion de la ferraille, ces stocks de ferraille seraient ramenés à 15 à 30 jours d'utilisation dans un établissement ayant une situation similaire.

D'autres piles de résidus liées aux procédés employés (ce sujet est traité de manière plus précise dans les pages suivantes de ce document) se sont accumulées et forment de gros tas en divers points – ce qui permet à la pluie d'emporter les huiles et graisses jusque dans les drains d'eaux pluviales. Aux endroits où de la ferraille ou des résidus n'ont pas été déversés, la végétation pousse sur une hauteur atteignant au moins 60 cm. On a signalé qu'en plein été, cette végétation se dessèche, ce qui présente un risque relativement important d'incendie.

Les bâtiments de production à charpente en acier sont, dans la majorité des cas, revêtus de panneaux en amiante-ciment qui se sont fortement détériorés dans certaines zones. Il y a des piles de panneaux endommagés accumulés au niveau du sol et des zones où des panneaux endommagés sont encore rattachés aux parois des bâtiments, ce qui fait courir un danger sur le plan de la sécurité.

En général, le rangement dans la totalité de cette aciérie, aussi bien en plein air que dans les principaux bâtiments de production, est mauvais, comme le montrent les drains d'eaux pluviales qui sont bouchés et endommagés, le rangement au hasard des matériaux et l'entretien inadéquat des installations.



Vue montrant la végétation, la ferraille, les équipements et bâtiments à l'abandon de haut-fourneaux et les émissions de la fonderie

Comme l'exploitant de cette aciérie n'a pas assuré de séparation entre, d'une part, les huiles et graisses et, d'autre part, les circuits d'égouts et d'eau domestique, les autorités locales n'ont pas autorisé le raccordement de l'émissaire d'égout de l'usine au réseau principal local d'égouts, ce qui fait que les flux provenant de cette aciérie sont déversés dans le lac. De ce fait, les effluents de procédés, les eaux pluviales, les décharges de la cantine et les eaux non traitées d'égouts suivent ce parcours commun jusqu'au lac et s'y déversent par l'un des deux points identifiés de décharge. On peut voir que la zone proche du rivage est fortement décolorée après des années d'utilisation de cet émissaire non contrôlé (consulter la photo 5 de la FP1 et Google Earth).

4 ÉVALUATION DES OPTIONS PROPOSÉES DE DÉPOLLUTION

4.1 FICHE PROJET 1 – REJETS ATMOSPHÉRIQUES

À titre de commentaire général, l'expert a passé en revue les sections 1 à 6 (pages 1 à 17) de la Fiche Projet 1 et se déclare, en gros, d'accord avec cette description du procédé et des problèmes résultant de cette opération.

Il est important de noter que le Tableau 1 (Section 5, page 13) et le Tableau 2 (page 15) montrent les valeurs des analyses en laboratoire des rejets dans l'atmosphère et les niveaux réglementaires qui doivent être respectés. Tous les cas non-conformes qui figurent dans ce tableau peuvent être maîtrisés en employant 2 mesures communes de contrôle :

- L'installation d'un système de contrôle des fumées (SCF)
- Une utilisation correcte de la chambre de combustion installée dans la conduite principale d'évacuation des gaz dans chaque four.

Il n'existe qu'une seule solution qui s'applique universellement aux activités des FAE et qui serait, semble-t-il soutenu par les organismes de tutelle du monde entier. Il s'agit d'un système qui recueille les rejets principaux et secondaires provenant de la fonderie dans un groupe de filtrage commun à sacs avant leur déchargement dans l'atmosphère.

Comme le montre le schéma type suivant, ce système doit (et il s'agit du strict minimum) saisir :

- Les gaz directs ou principaux s'échappant des FAE
- Les émissions fugitives secondaires provenant des FAE (verrière de toiture)
- Les échappements directs provenant du FPA.

Les flux gazeux secondaires sont en général acheminés par des conduites dans le circuit d'extraction de la verrière, au-dessus des fours, et se mélangent aux flux gazeux principal pour diluer la température et ramener cette dernière au maximum de 180° C que ne doivent pas dépasser les éléments à sacs du groupe de filtrage (des températures plus élevées provoquent une dégradation rapide et, dans certains cas extrêmes, font fondre les sacs).

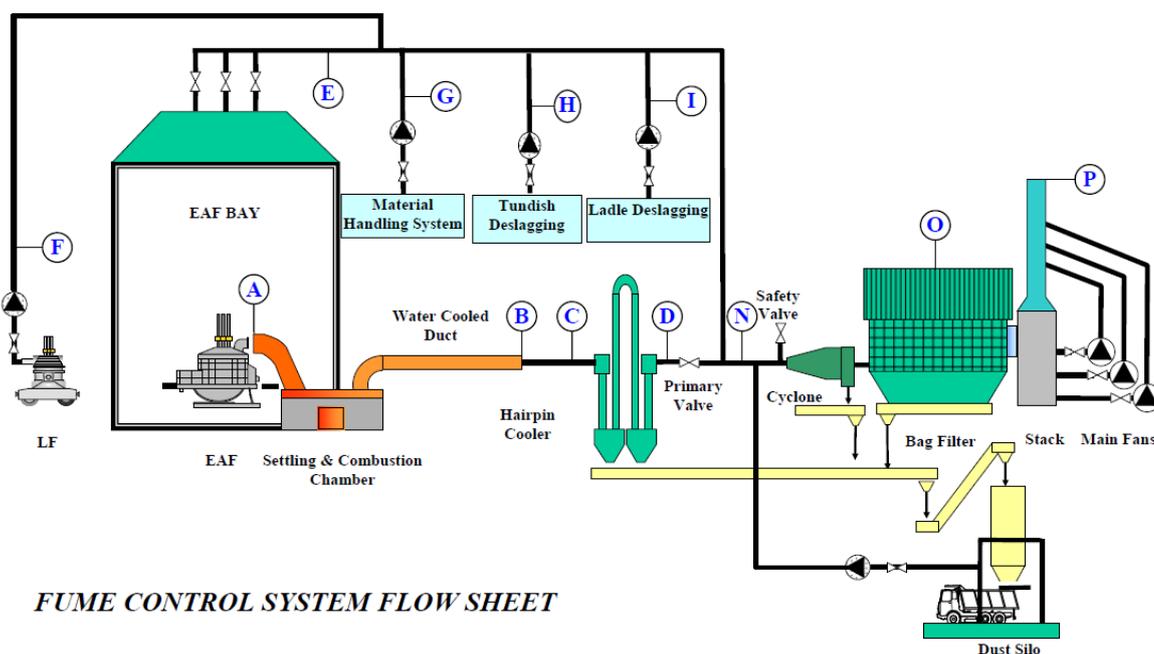
En outre, il est habituel, bien que cela ne soit pas vraiment exigé, de retenir les poussières et fumées qui s'échappent du système de manutention des matériaux (ferroalliages et fondants) et des activités de découpage des billettes au niveau de l'installation de coulée continue.

Les poussières recueillies dans les fumées contiendront très certainement des métaux lourds ayant pour origine la température élevée de fusion de la ferraille en acier. En général, les poussières ainsi recueillies représentent environ 1,7% par poids de l'acier liquide produit et ce groupe de filtrage devrait donc recueillir quelque 4 250 tonnes de poussières par rapport à une production annuelle de 250 000 tonnes.

Voici plusieurs exemples de solutions pour l'élimination des poussières recueillies :

1. En fonction de la teneur en zinc de ces poussières, il sera peut-être possible de les vendre à des entreprises de fonte (four de type Waeltz) pour récupérer le zinc et les autres métaux lourds qu'elles contiennent. En général, il faut atteindre le seuil minimal de 22% de ZnO par poids, et dès que cette teneur atteint 28% de ZnO, cette récupération devient rentable.
2. Lorsque cela n'est pas viable d'un point de vue économique, les poussières sont bien souvent déversées dans des décharges pour produits dangereux où tous les risques de lixiviation possible de métaux lourds dans la nappe phréatique sont correctement contrôlés. Nous ne savons pas, pour le moment, si une décharge de ce type existe en Tunisie.
3. Il y a plusieurs technologies émergentes pour le traitement de ces poussières et ces méthodes sont abordées dans les pages suivantes de ce rapport.

Il ne faut pas placer ces poussières dans une décharge commune ou municipale du fait des problèmes de lixiviation que pourraient provoquer les métaux lourds qui y sont présents. Il faudrait procéder à l'analyse chimique des fumées actuellement déchargées dans l'atmosphère afin d'avoir des indications sur la composition chimique probable des poussières récupérées.



Source : Danieli, Italie – Configuration d'un système typique de contrôle des fumées

4.1.1 REMARQUES FINALES SUR LA FP1

L'expert considère que l'Alternative A1 décrite dans la FP1 ne constitue pas une solution valide car elle ne résout pas le problème des fumées secondaires (fugitives).

L'Alternative A2 décrite est partiellement correcte, bien qu'elle ne résolve pas le problème des fumées MHS. De même, elle semble suggérer 3 groupes distincts de filtration à sacs et 3 cheminées, à raison d'un

pour chaque FAE et un autre pour le FPA. Cette solution potentielle n'est pas recommandée. En ce qui concerne El Fouladh, pour réussir, un fournisseur devrait déterminer s'il est en mesure de concevoir des conduites provenant des 2 FAE et aboutissant à un même ensemble comportant un filtre à sac et une cheminée (voir schéma ci-dessus) ³.

Les estimations de coûts fournies sur le Tableau 3 de la Section 6.1 de la FP1 semblent faibles d'après l'expérience de l'expert. Le prix de fourniture clé en main d'une solution globale permettant de résoudre ces problèmes, en faisant appel à un système moderne typique de contrôle des fumées, devrait approcher les 8 M€, mais ce point devra être vérifié auprès de fournisseurs potentiels. L'expert recommanderait, à titre minimum, de contacter trois sociétés qualifiées sur le plan international pour la fourniture de systèmes de contrôle des fumées, dans le but d'obtenir une offre complète comportant des garanties de performances. Les indications de prix figurant dans ces offres constitueront une base valable de détermination du coût de ce poste dans la solution globale de dépollution.

4.2 FICHE PROJET 2 – DÉCHETS INDUSTRIELS LIQUIDES

La Figure 1 de la FP2 récapitule la situation globale, à savoir un certain nombre de domaines présentant des problèmes majeurs et un problème moins important, comme indiqué ci-après :

- Effluents chimiques provenant des installations de tréfilerie et de production de profilés structuraux (galvanisation)
- Huiles et graisses provenant des décharges d'eau de procédé de l'usine principale
- Ruissellements d'eaux pluviales, y compris les contaminants provenant de l'aire de stockage de ferraille et de calamine
- Flux d'eaux d'égouts et d'eaux domestiques.
- Effluents provenant des installations de traitement des eaux – de nature chimique mais pas de volumes importants.

Tous ces éléments se déchargent à l'heure actuelle, sans traitement préalable, directement dans le lac (consulter les Photos 1 à 6 de la FP2). La liste des effluents liquides en provenance de l'aciérie qui figure dans la FP2 (Sections 2a à 2d) est complète et aucun commentaire supplémentaire n'est nécessaire.

Traitement des eaux : Comme le décrit en détail la FP2, l'eau en provenance des puits est adoucie à la chaux, l'excédent de carbonate de calcium est précipité en ajoutant des doses de chlorure ferrique (en tant que floculant) puis en effectuant un filtrage dans des bancs sableux. Ces derniers se nettoient en inversant le sens de circulation de l'eau et les résidus obtenus sont renvoyés dans le bassin de rétention des eaux reçues – ce qui donne à ce bassin sa couleur aigue-marine caractéristique. L'eau de purge

³ L'alternative A2 a été préconisée par les « fournisseurs–installateurs » CONCAST (Suisse) et AAFI (Etats –Unis) sur plusieurs installations similaires. Ces entreprises ont été déjà consulté et recommandent tous un système de filtration par source. Ce choix est justifié par le fait que cette solution garantit l'indépendance et la souplesse dans l'exploitation (fonctionnements normal et anormal, ainsi que les arrêts technique pour la maintenance des 2 fours à arc électrique (FAE) et du four poche d'affinage (FPA).

déversée, en provenance de l'eau de procédé ayant pour but de maintenir les caractéristiques chimiques, suit le même parcours. Cette pratique semble marcher à El Fouladh et, comme elle se situe dans un système autonome, il n'y a pas d'impact au niveau de l'environnement. De ce fait, aucune dépense n'est considérée comme nécessaire, à court terme, pour modifier ce système.

Décharges provenant de DTF et de DSM : Les acides et autres agents chimiques provenant de ces deux installations, après utilisation, se déversent directement dans le système d'évacuation des eaux pluviales, système qui aboutit directement dans le lac.

4.2.1 REMARQUES FINALES SUR LA FP2

Une proposition complète présentée par Proserpol (société française spécialisée dans le traitement de l'eau) et datée de juin 2011, est jointe à la FP2 et on peut considérer qu'il s'agit d'une proposition valide de traitement des différents flux d'effluents en provenance des secteurs de la tréfilerie, du traitement de l'eau et des structures. Le gâteau de filtration que produira cette nouvelle solution devrait trouver un débouché à la vente et le fournisseur sélectionné pour ce traitement de l'eau devrait être en mesure d'offrir une assistance pour identifier des clients appropriés.

Dans ce but, nous présentons les recommandations générales suivantes :

1. Les effluents chimiques provenant des installations de tréfilerie, de fabrication de profilés structuraux et de traitement de l'eau sont regroupés et traités comme indiqué dans la proposition de Proserpol.
2. L'eau de procédé de la fonderie est traitée dans un système semblable à la proposition de Proserpol mais conçu tout spécialement pour les polluants à base d'hydrocarbures d'une aciérie.
3. Les flux d'eaux d'égouts et d'eaux domestiques usées ainsi que les décharges provenant de la cantine sont récupérés, traversent un séparateur d'huiles et de graisses puis se déversent dans le réseau principal public des eaux sanitaires.
4. Le drainage des eaux pluviales, le nettoyage des véhicules et d'autres flux qui sont uniquement contaminés par des huiles et graisses sont récupérés, les huiles et les graisses sont séparées puis l'eau est acheminée jusqu'au point de décharge.

Les éléments 3 et 4 sont incorporés à la FP3 (voir Composantes A et B du chapitre suivant) et l'expert estime que ce programme global de solutions recommandées de traitement convient bien à la situation à El Fouladh.

4.3 FICHE PROJET 3 – DÉCHETS SOLIDES

Il semblerait utile de décrire brièvement les principaux déchets solides produits par El Fouladh puis de fournir des commentaires, point par point, sur la solution proposée dans la FP3.

Laitier des FAE : Pour affiner l'acier pendant sa fusion et pour disposer d'une bêche isolante au-dessus du bain liquide, un mélange de chaux (CaO) et de chaux dolomitique (CaO.MgO) est ajouté au four à

raison d'environ 40 kg/tonne d'acier liquide. Ces ajouts ainsi que les résidus non-métalliques et les oxydes présents à la suite de la fusion de la ferraille se combinent pour produire un volume de laitier égal à environ 10% de l'acier liquide produit. Ce laitier est retiré du bain lors d'une phase ultérieure et se déverse sur le sol, derrière le four, avant d'être retiré comme indiqué précédemment.

Habituellement, ce laitier est refroidi et de l'eau y est pulvérisée. Il est ensuite broyé, ses éléments métalliques en sont retirés par séparation magnétique puis le laitier broyé est passé aux cribles de façon à obtenir diverses fractions granulométriques qui sont mises en vente.

À El Fouladh, cela ne se passe pas comme cela. Le laitier sidérurgique non-traité est amené à une zone adjacente de décharge puis déversé de manière incontrôlée (voir discussion sur la FP3).

Le trempage du laitier, qui s'obtient bien souvent en le laissant exposé aux intempéries pendant 3 à 6 mois, est nécessaire pour hydrater la chaux libre résiduelle éventuellement présente dans ce matériau, avant son utilisation. Si de la chaux libre est présente lors d'une utilisation dans les fondations, l'hydratation ultérieure ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2$) entraîne un changement de volume (appelé "boursofflement") qui risque d'endommager le béton qui la surmonte.

Les emplois les plus fréquents de ce laitier broyé et passé aux cribles sont les suivants :

- Moellons de construction en tant que couche de base des routes et d'autres développements liés aux infrastructures.
- Après broyage fin, s'ajoute au goudron (~7%) pour créer des revêtements routiers qui ont une meilleure résistance à l'abrasion
- Additif de ciment pour obtenir des qualités à micro-silicate
- Production de parpaings de construction contenant un mélange de laitier et de béton (pas très fréquent).

Il y a également une méthodologie pour ajouter le laitier au ciment lors de la fabrication de ce dernier, en réduisant la teneur requise en chaux calcinée. Il s'agit d'un procédé breveté qui est décrit en détail à http://www.nationalslag.org/archive/nsa_201-1_cemstar_technical_bulletin.pdf

Autres laitiers : Des résidus provenant de la poche d'acier et, dans une moindre mesure, du répartiteur de la machine de coulée, bien que d'un volume nettement inférieur à celui du laitier de FAE sont également produits. Ils sont déversés sur le sol lorsque leurs conteneurs ne contiennent plus d'acier liquide.

Ces laitiers forment une poudre fine et sont normalement riches en chaux libre. Un grand nombre d'aciéries les recyclent dans les FAE afin d'éviter des coûts d'élimination et de profiter de cette teneur en chaux. S'il n'y a pas de recyclage proprement dit, ces résidus sont normalement enfouis de manière appropriée dans une décharge.

Matériaux réfractaires usés : Les matériaux basiques composés essentiellement de MgO peuvent être broyés et recyclés dans le FAE pour atteindre plus facilement le rapport requis en acide et base dans le laitier de production d'acier. Cela remplace alors une partie des besoins en chaux dolomitique importée.

Les éléments acides (matériaux à base de silice ou d'alumine) ne peuvent en général pas être vraiment réutilisés lors d'un procédé en aciérie mais, comme ils sont essentiellement neutres sur le plan écologique, ils sont enfouis dans une décharge après avoir retiré de ce matériau toute ferraille en acier.

Calamine : Des quantités relativement importantes de calamine (oxyde de fer sous forme d'écaillés) sont produites à la surface des billettes coulées, durant le refroidissement dans la machine de coulée et également lors des interventions de réchauffage et de laminage en laminoirs. La calamine provenant du lit de refroidissement de la machine de coulée et du four de réchauffage est en général sèche et propre alors que la calamine de la chambre de pulvérisation de machine de coulée et des laminoirs est finement divisée et humide et contient des huiles et graisses provenant des équipements des laminoirs.

La calamine sèche peut se recueillir directement à la source. L'autre type de calamine doit être détaché des fosses à calamine de la machine de coulée et des laminoirs après avoir attendu la fin du drainage et avant de s'en débarrasser. Par une heureuse coïncidence, le ciment de Portland a besoin de 4 à 7% de fer dans sa composition et, de ce fait, la totalité de la calamine peut normalement être employée par un producteur tout proche de ciment.

Ce serait actuellement le cas avec El Fouladh et une cimenterie voisine, sur la rive opposée du Lac de Bizerte. Cela devrait permettre de réduire à court terme la "montagne" de calamine cumulée et de la ramener à des niveaux plus normaux.

Ferraille : Un stock de ferraille dont la taille représente plus de 12 mois de production est à l'heure actuelle conservé par El Fouladh mais se situe en dehors de l'expérience de l'expert. Normalement, pour des raisons financières (besoins en matière de fonds de roulement), on cherche à minimiser le stock de ferraille tout en préservant le caractère continu des activités de production d'acier. Le niveau de stock conservé à El Fouladh gaspille de l'argent et, en outre (comme nous l'avons indiqué précédemment), cela occasionne des problèmes sur le plan écologique car les eaux pluviales emportent les résidus huileux présents sur la ferraille dans le circuit de drainage des eaux de pluie.

Il est recommandé d'agir de manière agressive pour réduire les stocks de ferraille et les ramener à environ 1 mois de production (soit à peu près 25 000 tonnes) et de désigner une aire spéciale pour le stockage de la ferraille. Cette zone pourrait avoir un revêtement de sol en béton, comme le suggère la FP3 (voir ci-dessous) ou une membrane non-perméable pourrait être posée et recouverte de deux couches (une couche d'argile pour empêcher les infiltrations d'eau et une couche de laitier concassé comme base de travail). Ces deux méthodes s'utilisent fréquemment dans cette industrie.

Les eaux pluviales sont recueillies en un point central puis traversent un séparateur commercial d'huile avant de se déverser dans le lac. Les huiles récupérées pourraient être vendues à des sociétés locales qui participent à des activités de collecte et élimination des huiles et graisses usées.

Ferraille de retour : Chaque étape de ces procédés produit une certaine forme de ferraille de retour. Cette ferraille est récupérée puis remise dans l'aire de stockage de la ferraille pour faire l'objet d'une nouvelle fonte. D'après les volumes de ferraille relativement neuve de laminoir (calamine grise au lieu de rouille marron en surface), il semblerait qu'il faille réexaminer les opérations dans les laminoirs.

4.3.1 REMARQUES FINALES SUR LA FP3

On considère, d'un point de vue général, que les solutions figurant dans la FP3 sont valables pour ramener les activités d'El Fouladh à des normes acceptées dans l'industrie sidérurgique pour l'élimination des déchets solides, en conformité avec toutes les normes environnementales tunisiennes locales.

Les coûts précis de ces options ne pourront être évalués de manière réaliste qu'après avoir reçu des offres contenant des prix fermes en provenance d'au moins 3 entreprises et après avoir négocié ces prix avec le fournisseur qui sera retenu.

Voici des commentaires au cas par cas sur les composantes individuelles proposées dans la FP3 :

Composante A – *réhabilitation du réseau des eaux sanitaires*

La solution, telle qu'elle est proposée, est acceptable. Le flux d'eau devrait maintenant se déverser dans le réseau municipal des eaux sanitaires au lieu de se déverser, sans traitement, directement dans le lac.

Les coûts estimés de 450 000 € semblent raisonnables.

Composante B – *réhabilitation du réseau des eaux pluviales*

La solution proposée est acceptable. Les eaux pluviales ainsi que d'autres résidus de drainage seront recueillis par le biais d'un système de drainage remis en état et couvrant la totalité du site. Ces eaux et résidus seront ensuite traités puis recombinaés avec les flux d'eaux de procédé avant de se déverser dans le lac. Ces décharges aboutiront en un point commun et seront surveillées pour garantir le respect des normes réglementaires.

Les coûts estimés de 300 000 € semblent raisonnables.

Composante C – *réhabilitation des zones de stockage des ferrailles*

La solution proposée pour centraliser le stockage de la ferraille sur une dalle imperméable spéciale pouvant retenir et canaliser les ruissellements liquides éventuels est acceptable.

Le coût estimé de 1 300 000 €, y compris une somme de 700 000 € pour la mise en place d'une dalle en béton de type approprié pour cette zone de quelque 3 ha, est trop faible. Il faudra construire cette dalle en béton de qualité. Cette dalle devra avoir une épaisseur suffisante et être en béton armé pour soutenir les lourdes charges appliquées par des piles de ferraille de 10 m de hauteur et le matériel de manutention de cette ferraille comme, par exemple, des camions lourds et des grues mobiles. Sur la base de cette estimation, si 3 ha doivent être bétonnés de cette manière, le coût estimé de $700\,000 / 30\,000 = 23 \text{ €/m}_2$ est clairement insuffisant.

Il y a deux solutions possibles, comme l'explique la section suivante consacrée au stockage de la ferraille (voir ci-dessous) :

1. En cas d'utilisation de béton, il faut s'attendre à une épaisseur moyenne de quelque 200 mm sur toute cette surface, ce qui représente quelque 6 000 m³ de béton. Si l'on se base sur une

estimation plus réaliste, le coût de pose de ce béton, auquel viendrait s'ajouter le coût des excavations, du coffrage et des ronds d'acier pour le béton armé, se rapprocherait en fait des 200 €/m³, ce qui donnerait en réalité un coût total de 1 200 000 € (soit près du double de l'estimation de coût de la FP3).

2. En variante, une membrane non-perméable pourrait être posée, recouverte d'une couche d'argile puis d'une couche de laitier sidérurgique de façon à créer une surface imperméable raisonnablement permanente sur laquelle la ferraille pourra être stockée, à un coût bien moindre. Ce coût doit être estimé par El Fouladh sur la base des tarifs locaux pour la main-d'œuvre, le transport et les matériaux.

Composante D – *création d'une zone affectée au confinement du laitier*

La solution sur ce site de collecte et de stockage des laitiers sidérurgiques est adéquate. Les coûts estimés de 650 000 € pour cet ensemble de travaux semblent raisonnables.

Il faut une solution à plus long terme comme celle qui est décrite à la section consacrée aux laitiers dans ce rapport (voir ci-dessous) afin d'identifier des solutions d'élimination et de vente car le stockage de longue durée sur ce site ne constitue pas une solution durable.

Composante E – *réhabilitation de la zone de stockage de la calamine et battitures*

La mise en place d'un socle imperméable valable où ces oxydes de fer (calamine) peuvent s'accumuler et être stockés avant leur mise en vente est une nécessité évidente. La solution proposée est acceptable pour le stockage de courte durée de ces résidus avant leur vente et leur retrait du site. Les coûts estimés de 180 000 € semblent raisonnables.

5 AUTRES CRITÈRES ENVIRONNEMENTAUX

5.1 RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE

Tous les critères envisageables en ce qui concerne le rendement énergétique sont totalement dépassés par l'amplitude des pertes enregistrées jour après jour du fait d'insuffisances opérationnelles. Nous considérons qu'il est vital de maîtriser les activités de fonte et de coulée avant de chercher à optimiser des postes qui consomment nettement moins d'énergie.

À ce titre, des technologies émergentes comme, par exemple, la récupération de la chaleur de l'eau usée des procédés, n'ont pas encore été envisagées sur la base de priorités bien établies. Néanmoins, les solutions proposées dans les fiches projet FP1, 2 et 3 correspondent à des solutions standard de cette industrie et aux consommations énergétiques qui leur sont normalement associées.

5.2 RÉUTILISATION OU RECYCLAGE DE L'EAU

Cet établissement n'est pas un gros consommateur d'eau et l'eau dont il se sert provient de toute une série de puits.

Une nouvelle fois, l'énorme impact des décharges d'effluents non-traités dans le lac est considéré comme nettement plus important. Dès que cette facette de la pollution sera contrôlée, ce pourrait être le moment d'examiner certaines caractéristiques de l'utilisation interne de l'eau pour déterminer leur optimisation éventuelle.

Il y a eu des débats sur l'opportunité d'utiliser l'eau provenant de l'usine toute proche de traitement des eaux usées de M. Bourguiba. Néanmoins, lors d'un exercice similaire réalisé au Royaume-Uni sur la possibilité d'utiliser TSE, on s'est rendu compte que pour se servir de cette eau, il faudrait traiter chimiquement cette eau et la filtrer pour l'amener à un niveau acceptable de qualité pour les procédés de laminage de l'acier. Il faudrait ensuite concevoir un système pour effectuer un traitement et disposer d'un stockage tampon de volume important de cette eau ainsi modifiée pour que l'aciérie reçoive de manière fiable l'eau dont ont besoin ses procédés.

5.3 ÉMISSIONS DE CO₂

Comme pour les commentaires ci-dessus sur les rendements énergétiques, la réduction de la consommation d'électricité, d'électrodes carbone, de GPL et d'oxygène aurait des avantages nettement plus importants sur la base de la tonne de produit en optimisant de manière appropriée les activités sidérurgiques que la conception d'un matériel, quel qu'il soit, de contrôle de la pollution.

On considère qu'il est impératif d'apporter un changement majeur aux performances opérationnelles de cette aciérie avant de chercher à apporter d'autres améliorations ou modifications.

6 TECHNOLOGIES ÉMERGENTES

L'industrie sidérurgique internationale cherche depuis longtemps des moyens économiques pour récupérer les unités de fer "perdus" tout au long des procédés réalisés. Il est évident que l'achat de ferraille en acier puis la perte d'une partie de cette ferraille et la non-utilisation de laitier, calamine et poussières est un exercice coûteux.

À ce jour, il n'existe pas de méthodologie acceptée sur le plan commercial.

Diverses options sont en cours de développement :

- Four de réduction des déchets solides
- Bouletage à froid ou à chaud de la calamine et des poussières en vue d'un recyclage dans les FAE
- Injection de poussières de groupe de filtrage à sacs dans les FAE pour augmenter la teneur en zinc (procédé Carbofer)
- Réduction de calamine liquide pour récupérer des unités de fer.

À ce stade de l'évolution d'El Fouladh, nous avons l'impression que la direction n'est pas prête à adopter des méthodes nouvelles qui n'ont pas été testées et qu'elle devrait plutôt se concentrer sur les deux secteurs liés que sont l'amélioration des opérations et l'amélioration du contrôle de l'environnement. Elle sera alors prête, à un moment futur, à adopter de nouvelles stratégies de recyclage, lorsque ces dernières seront disponibles sur le plan commercial.

7 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Une tentative de correction simultanée de tous les problèmes historiques qui existent dans cette aciérie imposerait une charge excessive sur la direction en charge de cet établissement. C'est pour cela que nous avons essayé de ne recommander que les changements considérés comme urgents pour assurer le rétablissement et la dépollution de ces installations.

Il est important de mettre en évidence le fait qu'un établissement qui n'est pas en mesure d'assurer un niveau élevé de contrôle opérationnel avec l'équipement dont elle dispose ne sera probablement pas en mesure d'améliorer ses performances avec du matériel supplémentaire neuf et relativement sophistiqué. Pour cette raison ainsi que des raisons économiques évidentes, nous pensons que ramener les opérations actuelles de cette aciérie à des niveaux acceptables est une mission vitale.

Sur la base de cette hypothèse, les recommandations pour le court terme sont les suivantes :

1. En priorité, commencer la procédure passant par la détermination de l'ingénierie, l'achat, la mise en service et la mise en œuvre des technologies de contrôle qui sont nécessaires pour parvenir à une bonne gestion des effluents liquides et des fumées de FAE. Cette procédure, à condition d'être réalisée correctement, va prendre 18 à 24 mois.
2. Utiliser cette période pour obtenir la participation d'un Associé opérationnel venant de l'extérieur et auquel sera confié un large éventail de responsabilités pour aider la direction en charge à relever le niveau des opérations et la garde de ces installations et les amener à des valeurs acceptables. Ce groupe venant de l'extérieur devra avoir un accès direct au gouvernement et être en mesure de remplacer les membres de la direction et les employés qui ne sont pas en mesure d'être performants ou qui ne veulent pas changer.
3. Réduire les stocks de ferraille pour les ramener à des niveaux acceptables et réorganiser ces stocks d'une manière bien conçue, avec construction d'une aire de manutention de la ferraille.
4. Commencer un programme de démolition de tous les bâtiments et équipements obsolètes. On s'est bien souvent rendu compte que la valeur de la ferraille produite lors d'une telle procédure couvre les coûts engagés et les mesures nécessaires de réparation de l'environnement.
5. Utiliser quelques-uns des nombreux employés pour améliorer le rangement général (et tailler les broussailles et la végétation) tout autour du site afin d'en améliorer l'aspect visuel et signaler que le "vent du renouveau" souffle.
6. Procéder à des investigations complètes sur les réseaux d'eaux sanitaires et d'eau domestique. Installer l'équipement nécessaire de déshuilage et raccorder de nouveau le circuit de décharges au réseau municipal des eaux sanitaires.

Cette première liste de mesures est fondamentale pour atteindre l'objectif de dépollution de l'environnement local et pour retrouver un bon contrôle de cet établissement.

L'exécution de ces mesures, en particulier les différentes initiatives de traitement de l'eau et le système de contrôle des fumées de la fonderie, doit être garantie par les fournisseurs d'équipements d'origine comme permettant une réduction de la contamination pour la ramener à des niveaux identiques, voire

même inférieurs, à ceux qu'exigent les normes réglementaires tunisiennes. Des tests appropriés et rédigés de garantie des performances, accompagnés de dommages et intérêts liquidés et de la définition de mesures correctives, devraient être incorporés aux contrats définitifs.

Après la réception par l'acheteur de l'installation, il devrait également y avoir une période de garantie contractuelle (en général de 24 mois, bien que 12 mois soient acceptables) durant laquelle le constructeur d'équipements d'origine reste responsable des performances de son système.

Enfin, il convient de souligner une nouvelle fois que les opérations dans l'aciérie ainsi que les procédures d'entretien devront faire l'objet d'une révision considérable avant de pouvoir assurer un fonctionnement et une révision corrects de ces nouveaux équipements, à plus long terme.