



**HAL**  
open science

## Minimisation de la pollution générée par un atelier de traitement de surface

Florine Leveillard, Valérie Laforest, Jacques Bourgois

### ► To cite this version:

Florine Leveillard, Valérie Laforest, Jacques Bourgois. Minimisation de la pollution générée par un atelier de traitement de surface. Colloque international " l'Eau, les Déchets et le Développement Durable " (E3D), Mar 2012, Agadir, Maroc. emse-00681244

**HAL Id: emse-00681244**

**<https://hal-emse.ccsd.cnrs.fr/emse-00681244v1>**

Submitted on 23 Apr 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# MINIMISATION DE LA POLLUTION GENEREE PAR UN ATELIER DE TRAITEMENT DE SURFACE

LEVEILLARD F., LAFOREST V., PIATYSZEK E., BOURGOIS J.

*Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 158 Cours Fauriel,  
F42023 Saint-Etienne Cedex2*

## Résumé

Le traitement de surface est une activité industrielle générant un chiffre d'affaire annuel de 6 milliards d'euros en France, 900 000 tonnes de matériaux d'apport sont appliqués sur 3 milliards de mètres-carrés. Lorsque cette branche industrielle utilise la voie aqueuse, cette activité est grande consommatrice d'eau et de produits chimiques et donc génératrice de rejets aqueux pollués. L'objectif de ce travail est de proposer une méthodologie simple de limitation des flux de pollution ainsi que de la consommation spécifique en eau. Cette méthodologie se base notamment sur le postulat que l'entraînement est le vecteur principal de la pollution au sein d'une chaîne de traitement de surface. Il a été montré (thèse Florine Leveillard, Saint-Etienne, 2010) que la géométrie des pièces traitées, la durée et l'agitation des rinçages, la durée d'égouttage avaient une forte influence sur l'entraînement alors que la tension de surface des bains de traitement avait une influence moyenne et la durée de rinçage une influence nulle. Le modèle développé répond à trois types d'objectifs : qualitatif (qualité des rinçages optimal), conformité réglementaire (limitation à 8 L/m<sup>2</sup>/fonction de rinçage) et environnemental (quantification des flux polluants émis par l'entreprise). Ce modèle comprend deux étapes : dans la première la chaîne de traitement est décrite, puis dans la seconde la géométrie des pièces traitées conduit, grâce à l'utilisation d'équations théoriques ou empiriques, à une estimation de l'entraînement corrigée par les valeurs de tension superficielle des bains et de la durée d'égouttage des pièces. Le volume entraîné par les pièces dilué dans les bains de rinçage conduit (i) à l'estimation de la pollution induite nécessaire au dimensionnement de la station d'épuration interne à l'entreprise et (ii) à la vérification du fonctionnement optimum des bains de rinçage.

Mot-clés : entraînement, modèle, pollution, traitement de surface en voie aqueuse

## Introduction

Face aux problématiques environnementales auxquelles doit faire face notre société, chaque entité et chaque industrie est tenue d'améliorer ses performances environnementales. C'est le cas du traitement de surface des métaux indispensable au bon fonctionnement de notre société. En effet, il permet non seulement d'augmenter la durée de vie des matériaux en les protégeant mais également de modifier leurs propriétés en fonction des besoins. Ce secteur nécessite l'utilisation de matières premières métalliques ainsi que de produits chimiques dangereux qui peuvent être à l'origine d'une forte pollution, en particulier aqueuse.

Le traitement de surface est une opération mécanique, chimique, électrochimique ou physique appliquée sur un matériau en vue de lui conférer des propriétés de surface spécifiques [Lacourcelle, 1996]. Ainsi, sont regroupées sous la dénomination « traitement de surface », toutes les activités de modification et de transformation de la surface d'un objet. Les objectifs d'un traitement de surface sont d'apporter à l'objet traité des propriétés nouvelles telles que [MATE, 1998] : amélioration de la résistance à la corrosion, protection contre l'usure des pièces

(dans les zones de frottement), modification de l'aspect de l'objet, (rugosité, couleur, brillance ...), modification de la conductibilité électrique ou thermique, autres caractéristiques diverses (modification des caractéristiques de glissement, des caractéristiques optiques, amélioration de la tenue en fatigue, soudabilité...).

Le traitement de surface par voie aqueuse s'effectue sur une chaîne de production industrielle composée d'une succession de bains de traitement et de bains de rinçage [Laforest, 1999]. Les pièces à traiter subissent une succession de trempages dans les différents bains (figure 1). Un traitement de surface comprend plusieurs étapes, se décomposant généralement en :

- un prétraitement qui comprend, par exemple, un dégraissage alcalin et un décapage acide des pièces : il permet de nettoyer et préparer la surface de la pièce pour recevoir le traitement désiré,
- le traitement lui-même : il s'agit des revêtements de surface tels que la dorure, le zingage, le nickelage, etc,
- le post-traitement qui permet de finir le traitement : ce peut être une passivation au chrome, un vernis...

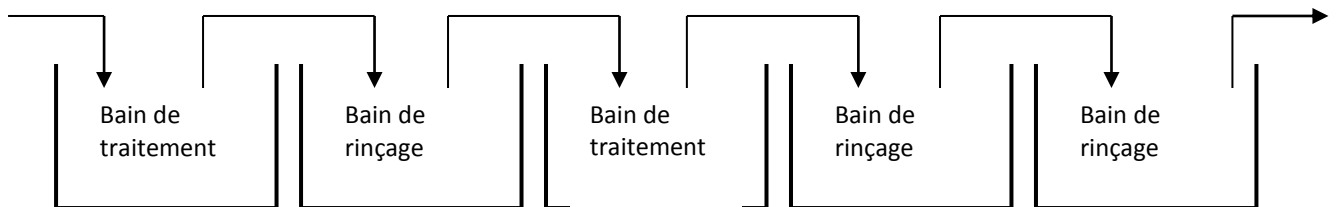


Figure 1 : Structure générale d'une chaîne de traitement de surface

Les caractéristiques générales les plus importantes pour décrire une chaîne de traitement sont :

- la nature du traitement de surface (chromage, nickelage, zingage...),
- le nombre de postes (bains de traitement et de rinçage),
- les supports de pièces, généralement des cadres (ou portants) sur lesquels les pièces sont suspendues, ou des tonneaux (récipients ajourés, souvent octogonaux, fermés et mis en rotation autour d'un axe),
- les pièces traitées (forme, matériau, surface).

La directive européenne n°2008/1/CE du 15/01/2008 relative à la prévention et au contrôle intégré de la pollution, dite directive IPPC, vise notamment « à la prévention, la réduction et, dans la mesure du possible, l'élimination de la pollution, en agissant par priorité à la source » [IPPC, 2008]. Cette directive impose, entre autre, aux Etats membres de soumettre à une procédure d'autorisation certaines installations parmi lesquelles figurent les installations de traitement de surface par voie aqueuse dont le volume total des cuves de traitement est supérieur à 30 m<sup>3</sup>. Les autorisations doivent spécifier des valeurs limites d'émission des différents polluants, fondées sur les performances atteignables en mettant en œuvre les meilleures techniques disponibles.

### La méthodologie

Nous avons élaboré une méthodologie de minimisation de la pollution émise par une chaîne de traitement de surface en nous basant sur les connaissances et résultats expérimentaux déjà acquis. Elle répond à trois objectifs :

- **qualitatif** : assurer que la qualité des rinçages soit optimale.
- **réglementaire** : vérifier la conformité réglementaire d'une chaîne de traitement de surface en termes de consommation spécifique en eau (limitation à 8L/m<sup>2</sup>/fonction de rinçage).
- **environnemental** : maîtriser l'impact environnemental de l'entreprise en quantifiant les différents flux de polluants. La finalité est de pouvoir déterminer s'il est possible d'apporter

des améliorations au niveau de la gestion de la chaîne sans y réaliser de modifications majeures. Il peut s'agir de la mise en place de bonnes pratiques ainsi que de modifications mineures de la chaîne de traitement.

Chacun de ces objectifs est représenté par un indicateur différent respectivement : l'efficacité des rinçages, le bilan eau, le bilan de pollution qui nécessite de connaître l'entraînement ainsi que le rapport de dilution.

Afin de parvenir à ces objectifs, la méthodologie consiste à **collecter les données** nécessaires aux différents modèles, à calculer une estimation de l'entraînement (modèle d'entraînement) qui sera utilisé pour définir la **qualité des rinçages** (modèle de rinçage) et réaliser le **bilan de pollution** et le **bilan eau**. L'utilisation de la méthodologie comprend deux étapes : dans un premier temps, nous cherchons à établir un diagnostic de la chaîne de traitement étudiée. Ce diagnostic de la chaîne peut être, dans un deuxième temps, complété par des actions d'amélioration dont les effets et les variations par rapport à l'état initial sont évalués.

Les données nécessaires concernant les différents bains de traitement et de rinçage sont répertoriées dans le tableau 1 qui indique également pour quel modèle la donnée est utile.

Certaines de ces données sont aisées à obtenir, d'autres plus difficiles et nécessitent la mise en œuvre de mesures expérimentales, en particulier pour la composition des bains de traitement. L'ajout de débitmètres et de compteurs d'eau est également utile pour les bains de rinçages courants et cascades. Cette phase d'acquisition de données étant réalisée, les informations sont employées pour le calcul des différents indicateurs.

#### 2-1 Modèle d'entraînement

Ce modèle (figure 2) a pour objectif l'estimation de l'entraînement qui servira pour déterminer l'efficacité des rinçages ainsi que le bilan de pollution. Il se décompose en trois étapes successives : répertorier les pièces traitées (durée de l'opération, calcul de la surface entraînant, attribution des classes d'entraînement), estimation de l'entraînement pour une durée d'égouttage et une mouillabilité prédéfinis, puis calcul de l'entraînement modélisé pour une durée d'égouttage et une mouillabilité réelles.

##### 2-1-a Etape 1

Il convient ici, après avoir répertorier l'ensemble des pièces à traiter sur la chaîne pendant la durée de l'étude, de calculer après mesures des pièces leur surface entraînant et de définir leurs classes d'entraînement en fonction de leur géométrie selon les résultats du tableau 2.

Tableau 2 : Intervalles et valeurs moyennes expérimentales des classes d'entraînement

Classe d'entraînement	Entraînement	Caractéristiques	Plage (mL/m <sup>2</sup> )	Entraînement moyen mesuré (mL/m <sup>2</sup> )
0	Très faible	Plaque, tôle peu anguleuse, tube droit, grille simple	30-90	60
1	Faible	Tôle anguleuse	90-150	110
2	Moyen	formes très anguleuses pouvant former des rétentions	150-250	180
3	Fort	Pièces présentant de fortes rétentions ou avec un égouttage difficile et long	250-500	430
4	Très fort	Pièces présentant de très fortes rétentions	500-900	700

Tableau 1 : Récapitulatif des données nécessaires à l'application de chaque modèle.

<b>Modèles</b>	<b>Entraînement</b>	<b>Bilan eau</b>	<b>Efficacité des rinçages</b>	<b>Bilan de pollution</b>
<b>Données</b>				
<b>Bains de traitement</b>				
Température (°C)			X	X
Volume des bains (L)		X	X	X
Surface du bain (m <sup>2</sup> )			X	X
Aspiration (oui/non)			X	X
Couverture du bain			X	X
Nombre de vidanges/an		X		
Temps d'égouttage (s)	X			
Tensioactif	X			
Composition des bains de traitement (mg/L)				X
<b>Fonctions de rinçage</b>				
Nombre et nature des rinçages		X	X	X
Débits (L/h)		X	X	
Durée de fonctionnement des rinçages (débits) (h)		X	X	
Volume des bains (L)		X	X	
Nombre de vidanges par an		X	X	
Provenance de l'eau d'alimentation du bain		X		
Temps d'égouttage (s)	X			
Destination de l'eau usée				X
<b>Pièces traitées</b>				
Surface entraînant (m <sup>2</sup> )	X			
Nombre de pièces traitées	X			
Classe d'entraînement des pièces	X			
Nombre de portants traités	X			

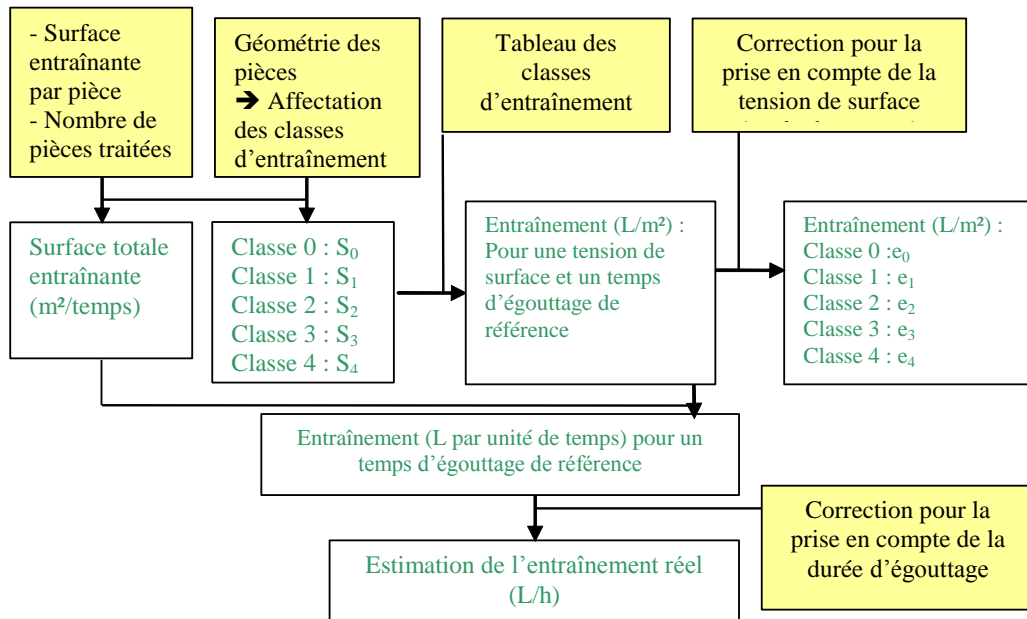


Figure 2 : Le modèle d'entraînement

2-1-b Etape 2

L'entraînement moyen pour une mouillabilité et un temps d'égouttage prédéfinis est donné en utilisant l'équation 1 en sommant les entraînements par classe.

$$e_s = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot e_i + \sum_{k=1}^m e_{pk} \cdot S_{pk}}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

Equation 1

Avec

- $e_s$  : le volume entraîné estimé par unité de surface (en mL/m<sup>2</sup>)
- $S_i$  : la surface totale de la classe i (en m<sup>2</sup>)
- $e_i$  : la valeur d'entraînement associée à la classe i (en mL/m<sup>2</sup>)
- $S_{pk}$  : la surface entraînée du portant k (en m<sup>2</sup>)
- $e_{pk}$  : l'entraînement moyen du portant k (en mL/m<sup>2</sup>)
- m : le nombre de portants traités pendant la période étudiée
- n : le nombre de classes dans le lot de pièces

2-1-c Etape 3 : les corrections

Afin d'estimer l'entraînement le plus proche de la réalité, il convient de prendre en compte la tension superficielle de chaque bain ainsi que le temps d'égouttage, afin de déterminer l'entraînement bain par bain.

2-1-c-a : la mouillabilité

Après des mesures d'entraînement en utilisant différentes solutions de mouillabilité et des géométries de pièces différentes, nous avons défini trois niveaux de mouillabilité et

déduit les facteurs multiplicatifs en fonction des classes d'entraînement figurant dans le tableau 3.

Tableau 3 : Calcul de l'entraînement corrigé en fonction du niveau de mouillabilité

Classe d'entraînement	Entraînement moyen ( $e_m$ ) pour une mouillabilité moyenne	Entraînement corrigé en fonction du niveau de mouillabilité		
		Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2
0	$e_{m0}$	$0,5 * e_{m0}$	$e_{m0}$	$0,75 * e_{m0}$
1	$e_{m1}$	$1,1 * e_{m1}$	$e_{m1}$	$0,87 * e_{m1}$
2	$e_{m2}$	$1,56 * e_{m2}$	$e_{m2}$	$0,58 * e_{m2}$
3	$e_{m3}$	$1,56 * e_{m3}$	$e_{m3}$	$0,58 * e_{m3}$

### 2-1-c-b : la durée d'égouttage

La durée d'égouttage constitue l'un des principaux paramètres d'influence sur l'entraînement. Les courbes de la figure 3 montrent le gain d'entraînement moyen, ramené en pourcentage, que l'on peut obtenir en fonction du temps d'égouttage ainsi que l'approximation polynomiale de la courbe moyenne.

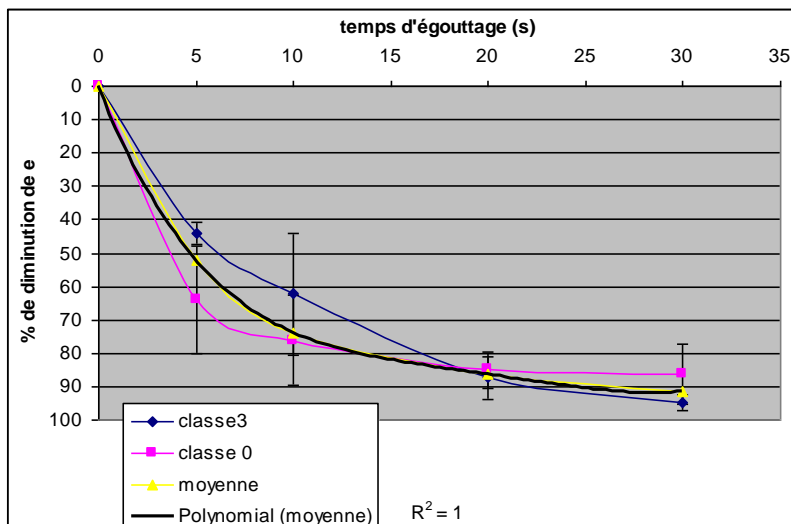


Figure 3 : Pourcentage de diminution de l'entraînement en fonction du temps d'égouttage, par rapport à l'absence d'égouttage

A l'examen de la figure 3, nous pouvons constater que les courbes de diminution de l'entraînement en fonction du temps d'égouttage sont similaires quelles que soient les classes d'entraînement. Ainsi, au vu des incertitudes de mesure, il semble pertinent de considérer que la courbe moyenne offre une bonne représentation de la cinétique d'égouttage quelle que soit la classe d'entraînement considérée. Une approximation polynomiale de cette courbe moyenne fournit l'équation 2.

$$P_t = -4,304 \cdot 10^{-4} \cdot t^4 + 0,0348 \cdot t^3 - 1,049 \cdot t^2 + 14,836 \cdot t \quad \text{Equation 2}$$

Avec

$P_t$  : pourcentage de diminution de l'entraînement au temps d'égouttage  $t$

$t$  : durée d'égouttage (s)

Cette équation permet d'estimer l'impact d'une modification des temps d'égouttage de 0 à 30 secondes sur l'entraînement au sein d'une chaîne de traitement (des temps d'égouttage supérieurs ne sont pas représentatifs d'une réalité industrielle).

L'entraînement peut alors être estimé en fonction du temps d'égouttage réel en utilisant l'équation 3.

$$e_{tr} = \frac{(100 - p_{tr})}{(100 - p_{tc})} \times e_{tc} \quad \text{Equation 3}$$

Avec :

$e_{tc}$  : entraînement connu pour un temps  $t_c$

$e_{tr}$  : entraînement recherché pour un temps  $t_r$

$p_{tc}$  : pourcentage de diminution de l'entraînement au temps  $t_c$

$p_{tr}$  : pourcentage de diminution de l'entraînement au temps  $t_r$

Les calculs de  $p_{tr}$  et  $p_{tc}$  se font selon l'équation 2 : avec  $0 < t < 30$  secondes.

L'entraînement connu ( $e_c$ ) peut être déterminé soit par la méthode des classes d'entraînement (partie 2, § III.1.3), soit par une mesure expérimentale.

En utilisant cette méthode, il est possible d'estimer l'entraînement pour un jeu de pièces très disparates, des temps d'égouttage et de tensions superficielles spécifiques. Nous avons validé notre méthodologie sur une chaîne industrielle. L'entraînement calculé par la méthode des classes d'entraînement fournit donc une assez bonne estimation de l'entraînement réel (figure 4) sur la chaîne de traitement sans avoir recours à des méthodes analytiques toujours problématiques pour une PME.

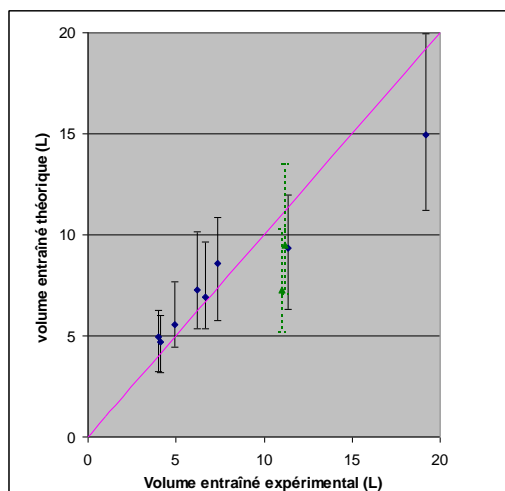


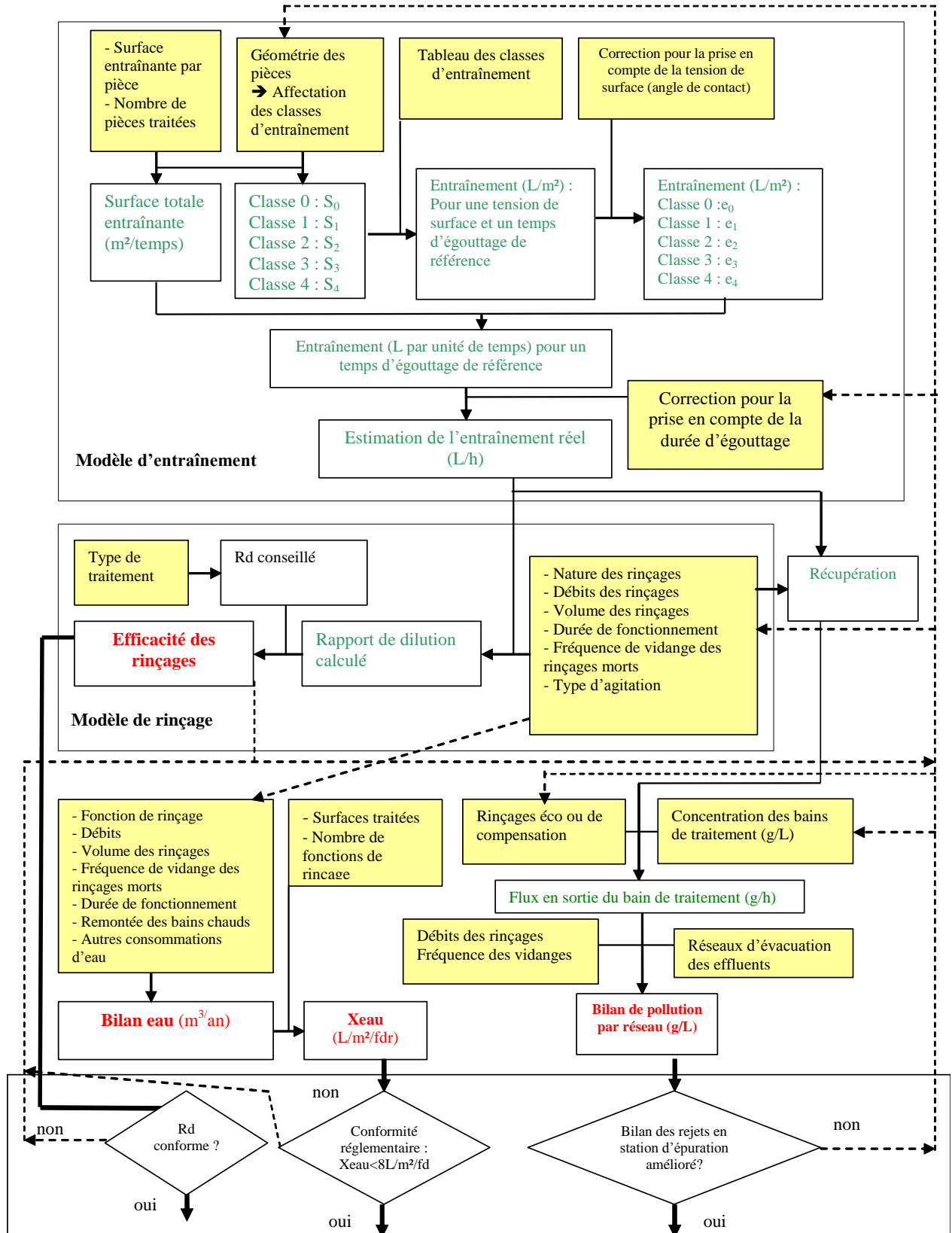
Figure 4 : Comparaison des volumes entraînés théorique et expérimental

## Conclusion

Nous avons établi et validé une méthodologie simple et pouvant être utilisée au niveau industriel de la détermination de l'entraînement dans un atelier de traitement de surface par voie aqueuse. L'entraînement étant le principal facteur de pollution, c'est un paramètre indispensable pour calculer le bilan de pollution et les qualités des rinçages d'une chaîne industrielle. Le modèle général peut être représenté par la figure 5. Notre modèle peut évidemment être utilisé pour vérifier l'impact qu'aurait toute modification au niveau de la chaîne de production.



Figure 5 : Modèle général



## **Bibliographie**

[LACOURCELLE, 1996] Lacourcelle L., Traité de galvanoplastie, Galva-Conseils Edition, 1996, 597p

[LAFOREST, 1999] Laforest V., Technologies propres : Méthodes de minimisation des rejets et de choix des procédés de valorisation des effluents. Application aux ateliers de traitement de surface, thèse sci : Institut National des Sciences Appliquées et Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne, 1999, 284p.

[LEVEILLARD, 2010] Leveillard F., Thèse, Méthodologie de minimisation de la pollution appliquée au traitement de surface : étude de l'entraînement comme vecteur de pollution, Saint-Etienne, 2010, 232p.

[MATE, 1998] Ministère de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement – Direction de la pollution et des risques, Le « rejet zéro » en traitement de surface - Faisabilité technico-économique, 1998, 136p.

[IPPC, 2008] Directive européenne n°2008/1/CE du 15 janvier 2008 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution ; JOUE n° L 24 du 29 janvier 2008

