

Application industrielle du dégraissage en solvant AIII dans l'industrie du roulement à billes

Présentation

La technologie du dégraissage industriel est confrontée depuis quelques années à des exigences accrues :

- amélioration de la qualité de la production,
- exigences légales plus contraignantes,
- augmentation de la productivité.

Devant l'étendue des choix proposés à l'industriel, il est parfois difficile de distinguer ce qui est fonctionnel et économique sur le plan du dégraissage des pièces.

Les installations proposées sont parfois orientées vers un type de production très particulière telles que les installations lessiviellles pour l'optique ou l'électronique. Le dégraissage en solvant AIII, soit ceux dont le point-éclair est situé entre 56° et 100°C, a pris une importance croissante durant les cinq dernières années.

Le présent article présente l'état de la technique à l'exemple du dégraissage de roulements à billes avec l'équipement de fabrication suisse Amsonic Egaclean.

D'autres implantations dans les domaines de la connectique, du décolletage et de l'horlogerie ont été réalisées.

Technologie Egaclean

Installation

La société Amsonic a développé à partir de 1992 des machines de lavage utilisant des solvants de type AIII (point-éclair entre 56° et 100°C). Les phases de lavage se faisaient à 40°C et le séchage sous vide de 100 mbar.

L'inflammabilité des solvants AIII impose des mesures de sécurité. La solution retenue pour la machine Egaclean développée en 1997, consiste à travailler à une pression inférieure à 100 mbar. Le fait de travailler sous vide permet de procéder au dégraissage au trempé à chaud, à une phase vapeur et au séchage. La distillation sous vide est aussi une partie intégrante de l'installation. Cette technologie est brevetée.

Les pièces à dégraisser sont introduits dans une chambre de travail. Le solvant est pompé dans cette chambre, puis vidangé. Il est usuel de travailler avec deux cuves de solvant, soit une cuve de travail et une cuve de solvant distillé en continu.

Les différentes phases du processus de lavage-séchage sont sélectionnées par le programme de lavage. Elles consistent en :

- immersion avec ou sans ultrasons, avec ou sans circulation (injection) de solvant, éventuellement en aspersion,
- phase vapeur,
- séchage.

Toutes les opérations réalisées à une pression de 100 mbar ou moins.

Les températures, genres de mouvement des support de pièces et temps de traitement sont sélectionnés par l'opérateur.

Le regraissage des pièces est une option. Il peut être réalisé en huile pleine. Dans ce cas, il est recommandé de procéder au regraissage en cuve séparée. Il peut en outre se faire en

solvant AIII additionné d'inhibiteurs de corrosion, dont le pourcentage dépend des exigences de résistance à la corrosion.

Le rétentat de distillation, soit les composés organiques ou inorganiques dont les points d'ébullition sont inférieurs à celui du solvant sont vidangés manuellement ou automatiquement. Ceci limite la consommation de solvant, qui se réduit à la compensation des pertes de solvant mélangé aux salissures, telles que les huiles minérales ou les émulsions. La concentration de solvant trouvée dans le rétentat de distillation est d'environ 5-10 %.



Solvants

Parmi les solvants AIII utilisés, mentionnons parmi les principaux:

Isoparaffines
N-Methylpyrrolidone
Alcools modifiés

Caractéristiques	Unité	Isoparaffine	NMP	Alcools modifiés
Densité	g/ml à 20 °C	0,77	1,028	0,880
Point d'ébullition	°C à 1013 hPa	173-193	204,3	169-171
Point-éclair (DIN51758)	°C	>56	91	63
Limite d'explosivité	% vol	0,6 – 7,0	1,3 – 9,5	1,1 – 8,0
Tension de vapeur	hPa à 20 °C	0,1	0,32	1,1
Tension de surface (air)	mN/m	25	41	26
Indice d'évaporation(DIN 53170)	ether =1	>1000	360	>400
Indice kauri-butanol	indice	> 40	>300	>130
Enthalpie de vaporisation	kJ/kg	250	550	310
VME	ppm	3000	20	100
Classe toxicité (Suisse)		libre	5	5
Recyclage		100%	100%	100%
Solubilité dans l'eau	% poids	<0,10%	100%	6%
Viscosité	mPa.s (25 °C)	1,13	1,796	4,0
Prix indicatif	Frs/l	env. 3.00	env. 5.--	8.-- à 15.--

Tableau 1: Caractéristiques physiques des solvants**Législation**

Les lois et ordonnances visant à réduire les émissions de solvants chlorés conduisent à accroître le prix et la complexité des équipements. C'est la raison pour laquelle leur utilisation tend à se limiter aux cas de pièces de géométrie particulièrement complexe. Les applications de la technologie des hydrocarbures AIII à la connectique et au décolletage démontrent que la qualité du dégraissage en solvants non halogénés est tout à fait comparable à celle obtenue en solvants chlorés.

Les normes applicables en Suisse pour les solvants de classe 3 (AIII) imposent une concentration des émissions limitée à 150 mg/m^3 , pour un débit massique de plus de 3 kg/h . Les normes d'émissions globales applicables on solvants chlorés ont été abaissées en 1998 et sont actuellement les suivantes:

- < 100 g/h pour Perchloréthylène (PER) et chlorure de méthylène
- < 25 g/h pour le Trichloréthylène (TRI).

En outre, le TRI a été classé parmi les produits cancérigènes (classe 3).

Le système de refroidissement de l'équipement Egaclean est en circuit fermé, ce qui élimine toute nécessité de contrôle des effluents aqueux.

Les boues de distillation sont exemptes de produits toxiques (chlore par exemple) et sont reprises gratuitement par les fournisseurs d'huiles de coupe. Leur élimination est réalisée par combustion en cimenterie.

L'introduction d'une taxe sur les composés organiques volatils (COV) va également dans le sens d'une limitation des émissions. Cette taxe s'applique aux solvants AIII et halogénés.

Au vu des consommations très basses de solvant AIII dans l'installation décrite ici, cette taxe est supprimée (émissions inférieures à 30% des valeurs de l'OPAIR).

En ce qui concerne les normes de sécurité CNA, elles sont remplies par l'équipement décrit. Des équipements Egaclean en exploitation en Suède sont également approuvés par les autorités. Il satisfait en particulier à la norme EN60079, qui caractérise les zones d'explosion dans les systèmes d'exploitation utilisant des produits inflammables.

Production

La productivité des machines de lavage industriel est définie par plusieurs paramètres, propres à chaque technologie.

AIII : Temps de cycles de 7 à 20 minutes par charge.
Charges moyennes de 50 à 200 kg.

Solvants chlorés : Temps de cycle de 7 à 15 minutes par charge
Charges de 50 à 200 kg
La concentration limite de 1 g/m^3 déterminant l'ouverture de la porte de l'installation est un facteur important qui peut rallonger notablement le temps de cycle des pièces en vrac, lorsque le séchage n'est pas réalisé sous vide.

Lessives : Les temps de séchage sont déterminant pour le temps de cycle. On peut admettre par expérience des cycles de 10 minutes par charge. Les charges dépassent rarement 100 kg. Le séchage de pièces complexes impose un séchage sous vide.

Qualité & Efficacité

L'expérience accumulée notamment en Allemagne depuis l'introduction de la législation limitant les émissions de solvants chlorés a permis de tirer quelques conclusions tirées de la pratique industrielle. Nous présentons ci-après les avantages et désavantages des trois grandes familles de systèmes de dégraissage des métaux.

Le dégraissage en *solvants chlorés* demeure la solution adaptée aux cas de salissures extrêmement complexes. Typiquement les graisses formant une masse compacte sous l'effet de traitements

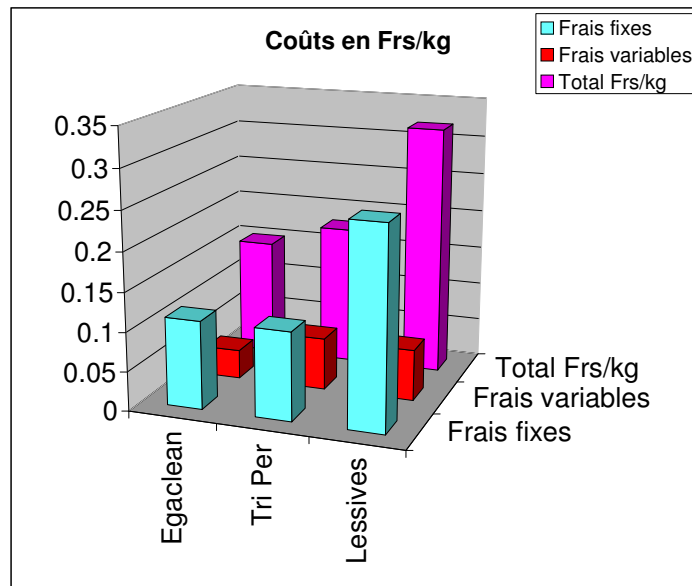
thermiques par exemple ou les géométries particulières, tels que les longs tubes de petit diamètre sont des pièces où les solvants chlorés présentent un avantage qualitatif certain.

Les *solvants AIII* sont intéressants parce qu'ils sont économiques, grâce au recyclage en continu du solvant et l'élimination gratuite du rétentat de distillation. Ils garantissent en outre une qualité du dégraissage et du séchage comparable à un celui obtenu au perchloréthylène ou au trichloréthylène.

La stabilité chimique du solvant à long terme facilite grandement les conditions de travail. La dégradation par abaissement du pH, propre aux solvants chlorés, ne se présente pas pour les solvants de type isoparaffine.

La qualité du nettoyage aux hydrocarbures est principalement influencée par :

- L'utilisation d'ultrasons sous vide, ce qui augmente leur efficacité, qui est fortement réduite en solvant hydrocarbures à la pression ambiante.
- Le stockage du solvant sous vide évite un dégazage lors de chaque remplissage de la cuve.
- la phase vapeur assure un rinçage final sur toute la surface des pièces (trous borgnes) avec un solvant distillé, donc épuré.
- Le choix des paramètres de distillation, garantit la qualité à long terme du solvant. Il est important que l'élimination du rétentat puisse se faire périodiquement. Ceci garantit une minimisation des consommations de solvant. Celle-ci est de l'ordre de 5-10% des polluants entraînés (huiles, émulsions, etc.).
- Le choix de solvants adaptés au cas pratique. On choisira par exemple un solvant polaire lorsque les salissures à éliminer sont principalement inorganiques. Par contre, l'élimination d'huiles minérales et de salissures organiques se fera de manière préférentielle avec des solvants non polaires.
- La filtration en continu est bien adaptée aux particules entraînées.
- Le séchage sous vide (1 à 10 mbar) permet de sécher tout type de pièces.



La troisième technologie de dégraissage industriel utilise des *lessive*. Cette méthode impose en principe une diversité de pH des détergents lorsque les métaux en présence sont multiples : alliages légers, cuivreux ou aciers. Le séchage et les risques de corrosion qui en découlent sont des éléments non négligeables de ce type d'installations. L'environnement -le traitement des eaux en particulier - alourdit en outre la configuration des machines.

Nous présentons ci-après une comparaison des machines sur le plan économique.

Genre de coûts	AIII Egaclean	Solvants chlorés	Lessive
		montants en Frs	
Investissement			
Installation	150'000	150'000	250'000
Mise en service	2'500	2'500	8'000
Intérêt du capital investi: 6%	9'150	9'150	15'480
Amortissement sur 5 ans			
Coûts annuels	39'650	39'650	67'080
Production	200 kg/h 352 to p.a.	200 kg/h 352 to p.a.	150 kg/h 264 to p.a.
Chimie			

Consommation	300 l p.a.	3000 l p.a.	300 l p.a.
Prix avec recyclage	4.-- Frs/l	4.-- Frs/l	10.-- Frs/l
Coûts annuels	1'200	12'000	3'000
Energie			
Consommation annuelle	35200 kWh	22880 kWh	40480 kWh
Tarif	-.16 Frs/kWh	-.16 Frs/kWh	-.16 Frs/kWh
Coûts annuels	5'632	3'661	6'477
Eau			
Consommation	0	0	588 m ³ p.a.
Tarif	2 Frs/m ³	2 Frs/m ³	2 Frs/m ³
Coûts annuels	0	0	1176
Elimination des déchets			
Volume	1760 kg p.a.	1760 kg p.a.	4000 kg p.a.
Prix	-.65 Frs/kg	3.25 Frs/kg	-.65 Frs/kg
Coûts annuels	1'144	5'720	2'600
Maintenance	2000 Frs p.a.	2000 Frs p.a.	4000 Frs p.a.
Coûts totaux en Frs/tonne	150.00	179.06	319.44

Tableau 2: Coûts d'exploitation par type de dégraissage

Ecologie

Un critère permettant de qualifier les installations de dégraissage sur la plan de leur impact environnemental est l'écobilan. Nous présentons ci-après le résumé d'une étude réalisée sur les trois types d'installations et un échantillon de 11 machines. L'écobilan des installations permet de conclure que les installations lessivielles et celles utilisant des hydrocarbures sont plus écologiques que les installations à solvants chlorés.

Il faut toutefois relever que la consommation élevée de solvant chloré de l'une des machines considérée est principalement due à la rétention de solvant dans les trous borgnes des pièces dégraissées dans l'installation analysée.

Dans le cas de l'équipement de cette installation d'une sonde contrôlant la teneur en chlore dans la chambre de travail, qui doit être inférieure à 1 g/m³, le bilan serait plus favorable, mais les cadences de production impliqueraient de tripler le nombre de machines de dégraissage.

Critères	Egaclean	Solvants chlorés*	Lessives
Consommation	17	104	15
Effluents	0	0	0
Recyclage	-3	0	-1
Total des écopoints/tonne	14	104	14

Tableau 3: Ecobilans des installations de dégraissage

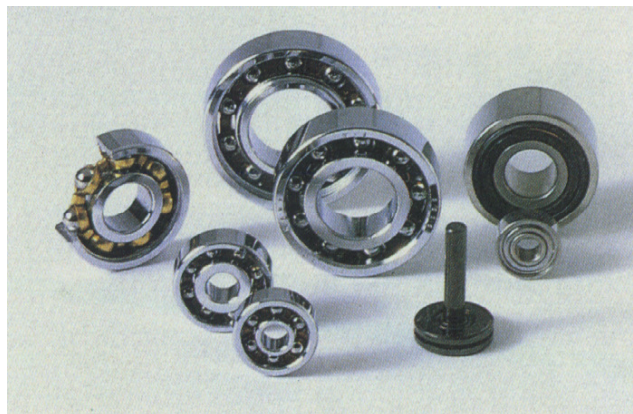
- Le total des écopoints serait ramené à environ 15 écopoints par tonne de pièces dégraissées, si l'installation était conforme aux nouvelles normes suisses. On arrive ainsi à la conclusion :
- que les trois types d'installations seront comparables sur le plan écologique à partir du moment où les installations à solvant chlorés éviteront le piégeage de solvant dans les pièces et des émissions importantes hors machine de dégraissage.

Application WIB

La société WIB SA, sise à Bulle, membre du groupe NSK-RHP Europe fabrique des roulements à bille de haute qualité. La société a été fondée en 1961.

WIB produit des roulements radiaux à billes, des roulements oscillants à double rangée de billes et des roulements de précision. Le programme de fabrication comprend plus de 600 références.

La production annuelle est de 8 mio de roulements et 4 mio de galets.



Le remplacement de deux machines utilisant du trichloréthylène a été étudié à partir de fin 1995.

Une décision de principe du groupe interdisait a priori l'utilisation de solvants chlorés. Le choix devait se porter sur les technologies aqueuse ou à solvant non chlorés.

Parmi les critères de décision, les principaux furent :

- le risque de corrosion,
- la productivité,
- la qualité du lavage,
- les coûts fixes et variables de l'équipement,
- la reproductibilité des résultats de lavage et séchage.

Les choix étant multiples, la société WIB a décidé de louer une machine HC-met de capacité réduite par rapport à ses exigences afin de tester la fiabilité du processus.

Le lavage lessiviel fut éliminé pour des questions de risque de corrosion sur les roulements montés. Le solvant AIII retenu après comparaison économique et technique entre :

- hydrocarbures et
- alcools modifiés

fut le solvant à base d'isoparaffine Esso-clean.

Les raisons du choix résident principalement dans le prix du solvant et la bonne résistance des pièces à la corrosion après dégraissage et séchage. La stabilité du solvant dans le temps fut également un critère important.

Technologie

Les caractéristiques principales de l'installation figurent ci-après

Caractéristiques	Unité	Egaclean 4200
Dimensions des paniers	PxLxH en mm	670x480x320
Volume de solvant (maximum)	litres	750
Capacité de distillation	litres/heure	100
Puissance installée	kW	54
Effluents		copeaux et rétentat de distillation
Capacité horaire	kg/h	400

Tableau 4: Caractéristiques de l'installation

Le chargement des paniers est automatique et le choix des programmes est déterminé par la codification des charges. Cette codification est embarquée sur le panier et le lecteur placé en amont de la chambre de travail sélectionne le programme désiré.

Solvant

Esso-clean est un solvant de type AIII. Ses caractéristiques sont définies dans le tableau 1.

Pièces à nettoyer

Les pièces à nettoyer sont d'une part les éléments des roulements à bille sortant de la rectification, qui sont pollués par des émulsions et particules métalliques. Il s'agit ici d'un nettoyage intermédiaire après lequel les pièces sont mesurées et soumises éventuellement à d'autres opérations mécaniques.

D'autre part, les roulements montés sont nettoyés avant le contrôle final. Ce contrôle s'effectue par mesure du « bruit ». Cette mesure se fait sur une machine Anderon et permet de déterminer le niveau de bruit mesuré.

Un contrôle supplémentaire consiste à déterminer la qualité des particules dissoutes dans un solvant, qui est ensuite filtré. Ce contrôle est effectué hebdomadairement. Lorsque ce contrôle est négatif, l'opérateur décide de procéder à un cycle supplémentaire de filtration du solvant de la machine Egaclean.

Les pièces sont nettoyées en vrac, avec oscillation, rotation des paniers ou en mode statique.

Les programmes de lavage sont au nombre de quatre:

- Billes et cages: lavage avec le bain de travail, phase vapeur, séchage, en mode statique.
- Roulements: lavage avec le bain de travail et le bain propre avec ultrasons, phase vapeur, séchage, avec oscillation.
- Défecteurs: lavage avec le bain de travail et le bain propre avec ultrasons, phase vapeur, séchage, avec rotation.
- Bagues: lavage avec le bain de travail et le bain propre avec ultrasons, phase vapeur, séchage, en mode statique.

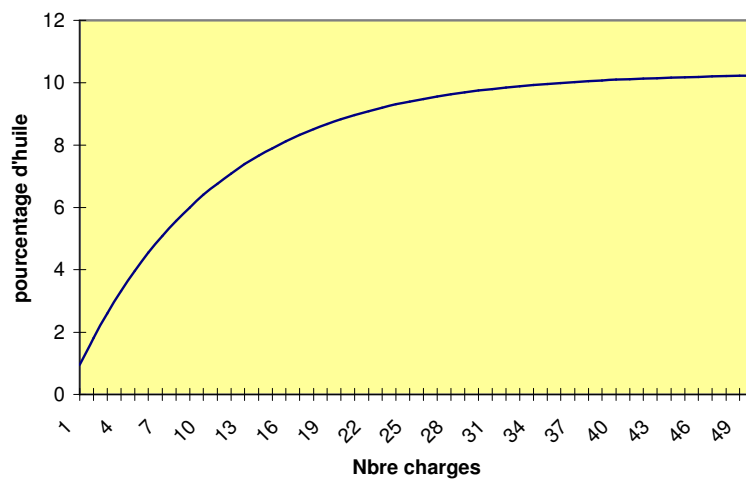
Contrôle de qualité

L'analyse préliminaire de la qualité du nettoyage durant la phase de test a porté sur les roulements montés. Le niveau de bruit et l'aspect des pièces fut comparable à celui obtenu en solvant chloré (trichloréthylène).

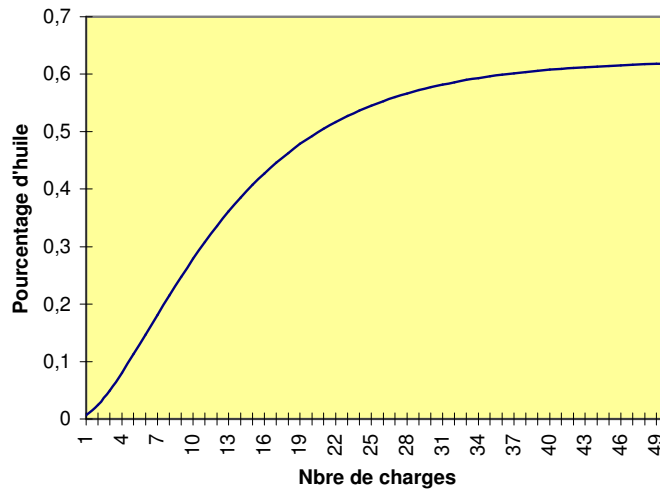
Elle a ensuite porté sur l'entraînement de salissures et leur élimination par distillation. Ce contrôle a permis de garantir que le solvant distillé en continu était propre et que les concentrations d'huile ne portaient pas atteinte à la qualité du nettoyage. Il détermine également le rythme de distillations supplémentaires si nécessaire.

Tableau 5: Concentration en huile

**Concentration d'huile dans le réservoir de travail
en fonction du nombre de charges dans la machine
4100**



**Concentration d'huile dans le réservoir
propre en fonction du nombre de charges
dans la machine 4100**



Le calcul de la concentration en huile a été fait selon les formules suivantes et sur la base des prélèvements de rétentat.

$x(t)$ = la quantité d'huile au temps t
 $y(t)$ = la concentration d'huile

Soit:

$$dx = dx_e - dx_s$$

$$dx = A dt - y * 22.5$$

on a $y = x/350$

$$dx = A dt - (22.5/350) * x$$

Solution générale:

$$x(t) = 15.55 A * (1 - \text{EXP}(-0.064 * t))$$

Bilan

Les résultats du test de lavage ont porté sur une période de 4 mois. Les éléments retenus furent :

- la qualité du lavage
- la qualité du séchage
- la qualité de la distillation
- l'économie du procédé
- l'aspect environnemental.

L'installation de la machine définitive a été réalisé en juillet 1998. Les expériences faites avec la machine Egaclean peuvent être résumées ainsi:

La qualité du lavage est équivalente à celle obtenue en solvant chloré en machine ouverte.
Séchage: sans changement par rapport à l'ancienne méthode.
Distillation : satisfaisante, les courbes de concentration calculée pour la machine de test ont été confirmées. La distillation se fait en continu avec une distillation supplémentaire hebdomadaire de 2-3 heures, hors production.

Nombre de charges passées	3'742 charges
Période de références	août 98 à mars 99
Nombre d'heure:	1'257 h en 157 jours
Nombre de charges horaires en moyenne:	3.26
Temps de cycle moyen :	18 minutes
Temps de préchauffage :	30 à 40 minutes
Poids moyen par panier:	environ 50 kg
Consommation de solvant :	106 l

Aspect environnemental

Stockage :	par fûts de 154 kg, limite légale OPAM:200'000 kg
Emissions:	dans l'air : environ 3.8 kg/an
Energie :	environ 35'200 kWh.
Reyclage des déchets :	par combustion en cimenterie.
Production de lavage:	460 tonnes par an.

Consommation de trichloréthylène avec l'ancienne machine de lavage : environ 7 tonnes par an.

Le tableau 6 représente l'écobilan de l'installation . Il ne tient pas compte des écopoints inhérents à la fabrication et à l'élimination de l'installation elle-même, mais uniquement des émissions provenant de l'exploitation.

Une machine identique a été acquise par le groupe NSK pour sa filiale de Kielce (Pologne). Cette installation est opérationnelle depuis janvier 1999. Elle utilise le solvant Esso-clean et travaille en deux équipes. La capacité de production quotidienne est d'environ 6'400 kg. Le contrôle de qualité est réalisé par dissolution des particules résiduelles en solvant et comptage des particules. L'exigence de propreté consiste à avoir moins de 3 particules de 50-100 µm par échantillon.

**Tableau 6: Ecobilan de la période de référence
(août 98 - mars 99)**

		Installation WIB HC-met 4200 Solvant AIII		Production en kg		187'100		
No	Fonction	Produit	Eco- facteur	Unité	Consom- mation	Unité	Ecopoints en 1000	Ecopoints par kg
1	Consommation							
1.1.	Solvant	106 l Isoparaffine 1)	14.3	g	81620	g	1167	6,2
1.2.	Eau de refroidissement	Eau			24	l		
1.3.	Energie	Electricité 3) 25120 kWh	1	MJ	90360	MJ	90,4	0,5
1.4.	Transport	km parcourus 2)	0.0115	t*km	180	t*km	2,1	0
	Sous-total						1259,5	6,7
2	Effluents							
2.1.	Elimination solides	100 kg de particules métalliques et polymères	0,222	g	100000	g	22,2	0,1
2.2.	Liquides	kg huile produisant 0.031 MJ/g	-0.031	g	1722000	g	-53,4	-0,3
	Sous-total						-31,2	-0,2
	Total						1228,3	6,5

- 1) Densité = 0.77 g/ml
 2) 100 km aller-retour 6 fois par an, 2 fûts
 3) 0,278 kWh = 1MJ

Développements et perspectives

L'utilisation d'autres solvants AIII est réalisée sur des installations Egaclean. Le choix s'est porté pour ces applications sur des alcools modifiés. Les isoparaffines sont réservés aux applications où l'entraînement d'huiles est important, alors que les alcools modifiés sont plus particulièrement utilisés pour le nettoyage de précision et lorsque les salissures contiennent des émulsions.

Parmi les autres applications de la technologie Egaclean, mentionnons le décolletage, la fiche de connecteurs, le cadran de montres, les outils en métal dur et la mécanique de précision. C'est principalement dans le décolletage qu'une percée a été réalisée. Plusieurs sociétés fournisseurs de pièces de connectiques ont comparé les qualités du nettoyage en solvant chloré et Egaclean. Leur choix s'est porté sur la technologie des hydrocarbures sous vide, à chaud Egaclean. C'est ainsi que 4 sociétés de Court, que l'on peut qualifier de centre helvétique du décolletage de précision ont acquis cet équipement en 1999.