



HAL
open science

Analyses qualitatives et quantitatives des émissions de composés organiques volatils émises lors du procédé d'impression offset feuilles.

M. Lecler, I. Subra, T. Nicot, G. Hecht

► To cite this version:

M. Lecler, I. Subra, T. Nicot, G. Hecht. Analyses qualitatives et quantitatives des émissions de composés organiques volatils émises lors du procédé d'impression offset feuilles.. [Rapport de recherche] Notes scientifiques et techniques de l'INRS NS 283, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). 2009, 105 p., ill., bibliogr. hal-01420326

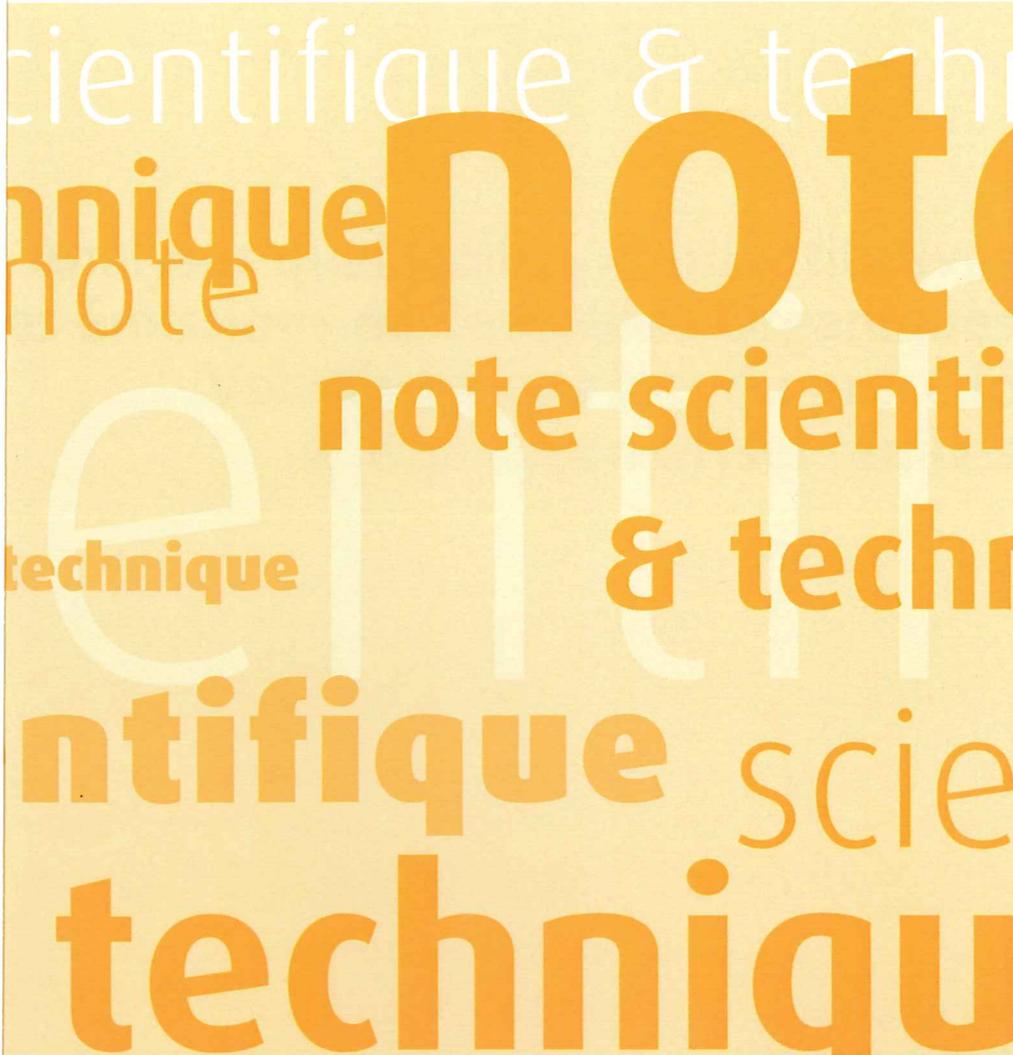
HAL Id: hal-01420326

<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01420326v1>

Submitted on 20 Dec 2016

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.



**Analyses qualitatives et quantitatives
des émissions de Composés Organiques
Volatils émises lors du procédé
d'impression offset feuilles**

NS 283

NOTE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Analyses qualitatives et quantitatives des émissions de Composés Organiques Volatils émises lors du procédé d'impression offset feuilles

Marie LECLER
Isabelle SUBRA
Thérèse NICOT
Gérard HECHT

ADEME

NS 283
novembre 2009

Analyses qualitatives et quantitatives des émissions de Composés Organiques Volatils émises lors du procédé d'impression offset feuilles

Marie LECLER, Isabelle SUBRA, Thérèse NICOT, Gérard HECHT

Référence du document

Rapport final IP/MLr/32802/RF/07-001

Organisme bénéficiaire : ADEME

Unité ayant effectué les travaux : laboratoire PROCédé et EPuration des polluants du département Ingénierie des Procédés

Adresse de l'unité : INRS, avenue de Bourgogne, BP 27, 54501 Vandoeuvre les Nancy Cedex

Responsable des travaux : M.T. LECLER

Titre : Analyses qualitatives et quantitatives des émissions de Composés Organiques Volatils émises lors du procédé d'impression offset feuilles

Titre anglais : Qualitatives and quantitative analysis of volatile organic compounds emissions generated during offset printing sheet process

Auteurs : Marie LECLER, Isabelle SUBRA, Thérèse NICOT, Gérard HECHT

N° contrat ADEME : 04 74 C0088

Date du contrat : 27 septembre 2005

Durée du contrat : 20 mois

Nom responsable ADEME : E. VESINE

Confidentialité : Non

Ces travaux ne font pas suite à d'autres travaux financés par l'ADEME

Résumé

L'objectif principal de cette étude paramétrique est de mesurer les émissions de composés organiques volatils générées lors du procédé d'impression offset feuilles en faisant varier différents paramètres (encres, solvants de nettoyage, pourcentage d'alcool isopropylique, nature du papier,...). La machine à imprimer (HEIDELBERG SM 52-2 couleurs) est installée dans une veine de mesure dans laquelle tous les polluants sont captés. Les prélèvements d'air ont été effectués simultanément sur tubes de charbon actif et au moyen de PID en différents points de la section d'échantillonnage du conduit d'extraction. Les tubes de charbon actif sont analysés en chromatographie gazeuse après avoir effectué l'analyse qualitative en spectrométrie de masse. Les résultats de cette étude ont permis d'évaluer l'influence des divers paramètres sur les débits d'émission d'une presse.

Mots clés : émissions COV, procédé, impression offset, feuilles, réduction

Table des matières

1. Introduction	1
2. Contexte réglementaire et normatif	2
2.1. Seuils d'autorisation et de déclaration	2
2.2. Limites des émissions de COV	3
3. Description du procédé offset feuilles	5
4. Paramètres d'influence	9
4.1. Nombre de groupes d'impression	10
4.2. Opérateur	10
4.3. Quantité d'encre déposée	10
4.4. Nature des encres	12
4.5. Solution de mouillage	13
4.5.1. Composition de la solution de mouillage	14
4.5.2. Contrôles de la solution de mouillage	16
4.6. Le papier	17
4.7. Les solvants de nettoyage	18
4.8. Le nettoyage	19
4.9. Le blanchet	20
5. Les COV : dangers pour l'homme et risques pour l'environnement	23
5.1. Toxicologie - dangers pour l'homme	23
5.2. Risques pour l'environnement	24
6. Programme d'essais	24
6.1. Etablissement du programme d'essais	24
6.2. Méthodologie	28
6.3. Conditions d'essai	29
7. Matériel et méthode	30
7.1. Banc d'essai	30
7.1.1. Description	30
7.1.2. Réglage de la machine	31
7.1.3. Mesure du débit d'air de ventilation	31
7.2. Analyses qualitatives	32

7.3. Analyses quantitatives : mesures des concentrations de COV	33
7.3.1. Prélèvements sur tubes de charbon actif	33
7.3.2. Détecteur PID	35
7.4. Contrôles de la solution de mouillage et des imprimés	36
7.5. Mesures du débit d'émission	37
7.6. Gestion des déchets	37
8. Résultats	38
8.1. Conditions atmosphériques	38
8.2. Mesures du débit d'air et réglage de la machine à imprimer	41
8.3. Analyses qualitatives	41
8.4. Contrôle de la solution de mouillage	43
8.5. Mesures des concentrations de COV	45
8.6. Profils de concentration de COV (PID)	48
8.7. Débits d'émission	50
9. Discussion et conclusion	58
9.1. Influence des différents paramètres	58
9.2. Comparaison à la réglementation environnementale	65
9.3. Proposition d'actions de réduction des émissions de COV	66
10. Bibliographie	69

Liste des tableaux

Tableau 1. Réglementation environnementale pour les installations soumises à autorisation - Cas général	4
Tableau 2. Réglementation environnementale pour les installations soumises à déclaration - Cas général	4
Tableau 3. Densités en fonction du papier	11
Tableau 4. Caractéristiques physico-chimiques des solvants utilisés	19
Tableau 6. Synthèse des expériences pour chacune des configurations en fonction des paramètres étudiés	27
Tableau 7. Conditions atmosphériques dans la cabine et dans le hall	39
Tableau 8. Conditions atmosphériques dans la cabine et dans le hall	40
Tableau 9. Températures, humidités et pressions moyennes dans la cabine et dans le hall	41
Tableau 10. Composition des encres	41
Tableau 11. Composition des solutions de mouillage	42
Tableau 12. Températures, pH, conductivités et pourcentages d'alcool isopropylique (IPA) pour chaque expérience	43
Tableau 13. Températures, pH, conductivités et pourcentage d'alcool isopropylique (IPA) pour chaque expérience	44
Tableau 14. Résultats des prélèvements de composés organiques des expériences de référence et par facteur d'influence - Première configuration	46
Tableau 15. Résultats des prélèvements de composés organiques en fonction de la nature des solvants de nettoyage et du mode de lavage - Deuxième configuration	47
Tableau 16. Résultats des prélèvements de composés organiques pour les chiffons propres, une pile de papier imprimé, le blanchet traditionnel en caoutchouc (ancien blanchet) et le blanchet en polymère (nouveau blanchet)	48
Tableau 17. Synthèse de l'influence des paramètres	59

Liste des figures

Figure 1. Schéma de principe d'un groupe imprimant en offset	6
Figure 2. Vue générale du procédé offset	7
Figure 3. Les sources d'émissions de polluants dans l'impression offset	9
Figure 4. Paramètres d'influence intervenant dans le procédé offset feuilles	22
Figure 5. Description du banc d'essai	30
Figure 6. Localisation des points de prélèvements dans le conduit	34
Figure 7. Evolution de la température, du pH, du pourcentage d'alcool isopropylique et de la conductivité de la solution de mouillage pour chaque expérience	45
Figure 8. Profil de concentration correspondant à la première configuration	49
Figure 9. Profil de concentration correspondant à la seconde configuration (quatre cycles de lavage)	49
Figure 10. Débits d'émission en fonction du conducteur A et B	50
Figure 11. Débits d'émission en fonction du nombre de groupes d'impression	51
Figure 12. Débits d'émission en fonction de la charge d'encre déposée	51
Figure 13. Débits d'émission pour différentes encres	52
Figure 14. Débits d'émission en fonction du pourcentage d'alcool isopropylique	52
Figure 15. Débits d'émission pour différentes solutions de mouillage	53
Figure 16. Débits d'émission avec et non respect des procédures	53
Figure 17. Débits d'émission en fonction de la nature du papier, du blanchet et de la phase d'impression	54
Figure 18. Débits d'émission pour différents solvants lors du lavage automatique	55
Figure 19. Débits d'émission pour différents solvants lors du lavage manuel	56
Figure 20. Débits d'émission en COV totaux pour différents solvants lors du lavage automatique et manuel	56
Figure 21. Débits d'émission pour le nettoyage du blanchet, de la batterie d'encre et du cylindre de marge	57
Figure 22. Points d'éclair des différents solvants en fonction des débits d'émission de COV totaux	62
Figure 23. Débits d'émission en COV totaux en fonction de la tension de vapeur des différents solvants	62
Figure 24. Evolution du débit d'émission d'alcool isopropylique en fonction du pourcentage d'alcool isopropylique	63
Figure 25. Corrélations entre le nombre de groupes d'impression et les débits d'émission	64
Figure 26. Exemple de poubelle ventilée, à cône aspirant	68
Figure 27. Exemple de fontaine à solvant	68

1. Introduction

L'objectif principal de cette étude paramétrique est de mesurer les émissions de composés organiques volatils (COV) générées lors du procédé d'impression offset feuilles. Différentes configurations ont été étudiées afin d'approfondir les connaissances des facteurs d'influence liés aux produits employés et aux pratiques d'exploitation. Cet acquis contribuera à la mise en œuvre des moyens les plus pertinents de réduction des émissions diffuses. Cette réduction sera d'autant plus efficace qu'elle se situera à la source des polluants.

Un des objectifs indirects de ce projet réside dans l'estimation des gains potentiels que le secteur de l'imprimerie pourrait réaliser en termes d'émissions de COV. L'intérêt d'un accord volontaire de réduction de COV pourrait ainsi être estimé.

La réalisation de cette étude étant motivée par les attentes de la profession, les résultats obtenus devront pouvoir être concrètement utilisés par les entreprises du secteur. Par conséquent, lors de la réalisation de cette étude, on s'est attaché particulièrement à garantir la possibilité de transfert des données mesurées lors des essais dans la cabine aux applications de terrain.

Pour atteindre ces objectifs, une méthode standard se rapprochant au plus près de la réalité a été mise en place. L'application des deux règles suivantes a systématiquement été vérifiée :

- les process d'impression appliqués (réglages et vitesse de la machine, nature du papier, quantité et qualité de l'encre, choix des travaux réalisés, etc.) correspondent à une réalité de terrain ;
- les conditions opératoires (ventilation, température, etc.) sont celles couramment rencontrées dans les ateliers.

Le transfert des données mesurées à partir d'un type de presse à imprimer vers d'autres presses sera d'autant plus aisé que le secteur des industries graphiques est un secteur où les équipements de production utilisés sont tous des équipements de série. Toutes les presses à imprimer ont donc les mêmes caractéristiques, seuls les équipements connexes présentent de grandes différences (nature de l'installation de

nettoyage automatique, type d'installation de mouillage, etc.). De plus, en offset feuilles, la différence existant entre une entreprise de 10 salariés et une entreprise de 50 salariés résidera dans la taille des machines utilisées et dans son mode d'organisation et ses méthodes de travail.

Cette étude, en corrélant différentes caractéristiques "matériels" avec les émissions de COV, nous a permis d'estimer, a priori, les émissions générées pour un atelier donné.

L'objet de ce programme a été :

- d'adapter une méthode d'évaluation des débits d'émission d'une source polluante à une machine à imprimer ;
- de déterminer l'influence sur les débits d'émission de COV de différents facteurs identifiés (encre, solvants de nettoyage, teneur en alcool isopropylique, additifs de mouillage...);
- de préconiser des moyens susceptibles de diminuer de façon notable ces émissions (modes opératoires, produits alternatifs et équipements spécifiques).

La réussite de ce programme réside dans l'implication de tous les intervenants de cette opération unitaire grâce à la Fédération de l'Imprimerie et de la Communication Graphique (FICG). Cette fédération représente les utilisateurs et anime les travaux du Groupe Offset des Techniques Avancées (GOTA) qui rassemble toutes les parties prenantes.

2. Contexte réglementaire et normatif

2.1. Seuils d'autorisation et de déclaration

L'activité des industries graphiques peut être soumise ou non à la réglementation ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement). Le régime des ICPE est issu de la loi du 19 juillet 1976 [1] et de son décret d'application du 21 septembre 1977 [2]. L'objectif de cette loi est de réglementer les installations ou activités susceptibles de porter atteinte à l'environnement ou à la santé des personnes.

Ces installations et activités sont inscrites dans une nomenclature et doivent obtenir une autorisation préfectorale, ou être déclarées avant leur mise en service, suivant la gravité des risques qu'elles peuvent représenter. La rubrique ICPE propre à l'activité imprimerie est la rubrique 2450 (décret du 20 mai 1953 modifié [3]) : imprimerie ou ateliers de reproduction graphique sur tout support tel que métal, papier, carton, matières plastiques, textiles, etc. utilisant une forme imprimante.

Il est important de noter que, vu la taille des entreprises (70 % d'entre elles ont moins de 10 salariés), très peu d'imprimeries sont soumises à autorisation ou à déclaration pour cette rubrique.

La rubrique ICPE propre à l'imprimerie offset feuilles est :

« 3. autres procédés, y compris les techniques offset non visées en 1, si la quantité d'encre consommée est :

- a) supérieure ou égale à 400 kg/j (autorisation)
- b) supérieure à 100 kg/j, mais inférieure à 400 kg/j (déclaration) ».

2.2. Limites des émissions de COV

Depuis 1991, la Commission des Communautés Européennes travaille à limiter les émissions de COV. La Directive 1999/13/CE du 11 mars 1999 [4], relative à la réduction des émissions de COV dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations, a été transcrite en droit français par l'arrêté du 29 mai 2000 modifiant celui du 2 février 1998. Cet arrêté, relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau et aux émissions de toute nature, régit les dispositifs de surveillance et les prescriptions de réduction des émissions de toute nature des installations soumises à autorisation. Le secteur de l'offset feuilles est concerné par le cas général (article 27.7.a) de l'arrêté du 2 février 1998 modifié. Les valeurs limites d'émission canalisées et diffuses (VLEc et VLEd) pour le cas général sont présentées tableau 1.

	VLEc	VLEd [% des solvants entrant]
Rejet total de COV à l'exclusion du méthane lorsque le flux horaire > 2 kg/h	110 mg C/Nm ³	Fixée par arrêté préfectoral
Rejet total de COV visés à l'annexe III de l'arrêté du 02/02/1998 modifié + COV halogénés étiquetés R40 lorsque le flux horaire ≥ 0,1 kg/h	20 mg COV/Nm ³	Fixée par arrêté préfectoral
Rejet total de COV à phrases de risque R45, 46, 49, 60 et 61 lorsque le flux horaire ≥ 0,01 kg/h	2 mg COV/Nm ³	Fixée par arrêté préfectoral

Tableau 1. Réglementation environnementale pour les installations soumises à autorisation - Cas général

La mise en œuvre d'un plan de gestion de solvants (PGS : bilan matière entrée / sortie des solvants sur une installation) est requise à partir d'une consommation de une tonne de solvants par an. Entre une et trente tonnes de solvants consommés, ce PGS doit être mis à la disposition de l'inspection des installations classées. Au-delà, le PGS doit obligatoirement être transmis chaque année à l'inspection des installations classées (article 28-1 de l'arrêté du 02/02/1998 modifié).

Cette transcription, pour les industries graphiques soumises à déclaration dans le cadre de la rubrique n° 2450, a été réalisée via la publication de l'arrêté du 16 juillet 2003. Les valeurs limites d'émission canalisées et diffuses (VLEc et VLEd) pour le cas général sont présentées tableau 2.

	VLEc	VLEd [% des solvants entrant]
Rejet total de COV lorsque le flux horaire > 2 kg/h	110 mg C/Nm ³	Si consommation de solvants > 5 tonnes, VLEd ≤ 30 %
Rejet total de COV visés à l'annexe II de l'arrêté du 16/07/2003 + COV halogénés étiquetés R40 ou R 68 lorsque le flux horaire ≥ 0,1 kg/h	20 mg COV/Nm ³	Fixée par arrêté préfectoral
Rejet total de COV à phrases de risque R45, 46, 49, 60 et 61 lorsque le flux horaire ≥ 0,01 kg/h	2 mg COV/Nm ³	Fixée par arrêté préfectoral

Tableau 2. Réglementation environnementale pour les installations soumises à déclaration - Cas général

Dès lors que la consommation de solvants de l'installation est supérieure à une tonne par an, l'exploitant met en place un plan de gestion de solvants mentionnant notamment les entrées et les sorties de solvants de l'installation. Ce plan est tenu à la disposition de l'inspection des installations classées ainsi que tout justificatif concernant la consommation de solvants (factures, nom des fournisseurs, etc.). (article 6.3.b.I de l'arrêté du 16/07/2003).

Néanmoins, à l'exception de quelques rares installations réalisant des emballages, très peu d'unités d'impression offset feuilles sont classées pour la protection de l'environnement dans le cadre de la rubrique n° 2450. Par conséquent, aucune réglementation environnementale spécifique ayant pour objectif la réduction des émissions de COV ne s'applique à la majorité des entreprises du secteur ; secteur qui consomme, hors encres, environ 12 000 tonnes de solvants par an.

En termes d'hygiène du travail, les risques liés à l'exposition aux vapeurs de COV sont reconnus et se traduisent par l'existence de valeurs limites d'exposition professionnelle. De plus, pour les solvants CMR, les obligations renforcées répertoriées aux articles R 231-56 et suivant s'appliquent.

3. Description du procédé offset feuilles

Le procédé offset tient son nom de la présence d'une surface intermédiaire entre la forme imprimante et le support : le blanchet. C'est un matériau en caoutchouc destiné à reporter l'image de la plaque au support. La plaque est traitée au préalable de sorte que les zones imprimantes soient hydrophobes et les zones non imprimantes hydrophiles. Le principe de ce procédé consiste à déposer la solution de mouillage contenant une grande majorité d'eau sur les zones non imprimantes et l'encre sur les zones imprimantes de la plaque (cf. figure 1). La presse est constituée d'un ou de plusieurs groupes d'impression. Les rames de papier sont chargées sur la marge. Chaque feuille est soulevée par aspiration, prise en pince, entraînée et imprimée dans un tour complet par le cylindre de marge en pression avec le blanchet. Les feuilles sont ensuite réceptionnées à la recette et taquées en piles.

Pour imprimer un support en offset, il faut :

- Une presse comprenant un cylindre porte-plaque, un cylindre porte-blanchet, un cylindre de contre-pression appelé encore cylindre de marge ou d'impression, un système de mouillage et un système d'encrage. Les presses à feuilles sont destinées à des tirages de l'ordre de quelques milliers à quelques dizaines de milliers de feuilles. Aujourd'hui, on peut imprimer en feuilles de grands formats (72 x 102 cm ou 102 x 142 cm) à des vitesses atteignant 15 000 feuilles / heure sur des machines configurées avec dix couleurs en ligne.
- Des consommables : support (papier,...), solution de mouillage, blanchet, plaque, encre. Le papier doit recevoir l'encre sur sa surface, l'absorber sans excès pour maintenir un aspect visuel d'intensité et de brillance. La solution de mouillage a pour principales fonctions de protéger les zones non imprimantes de la plaque et de s'émulsionner dans l'encre. Elle est composée, en grande partie, d'eau (77 à 98 %) additionnée d'alcool isopropylique (5 à 20 %) et d'un additif (2 à 3 %). Le blanchet a un rôle essentiel dans le transfert d'image qui se fait grâce à son caractère élastique. La plaque offset traduit, par ses parties imprimantes, le message à imprimer et la qualité de l'impression offset est guidée par ses régions non imprimantes. La plaque offset est régulatrice du débit d'eau.

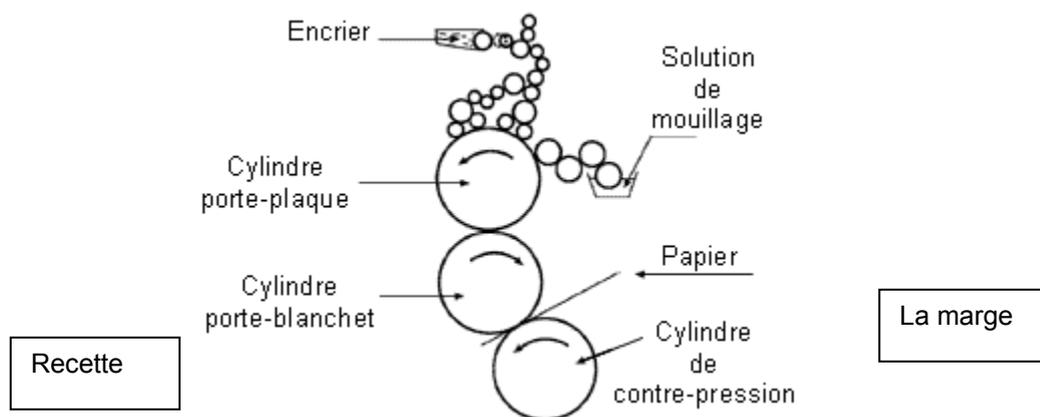


Figure 1. Schéma de principe d'un groupe imprimant en offset

La plaque métallique, cintrée et fixée sur son cylindre, est en contact avec les systèmes de mouillage et d'encrage. Le système de mouillage humidifie la surface de la plaque qui refuse le dépôt d'encre sur les zones non imprimantes.

Le système d'encrage dépose une pellicule d'encre sur les zones imprimantes (zones occupées par l'image, sur chaque trait ou point de trame). L'image encrée se décalque sur le cylindre blanchet qui, lui-même, imprimera la pellicule d'encre sur le papier. Le transfert est favorisé par la surface souple du blanchet.

Le procédé offset [5] peut être représenté sous la forme d'une double pyramide à base triangulaire, les cinq sommets représentant les matières premières du procédé (cf. figure 2).

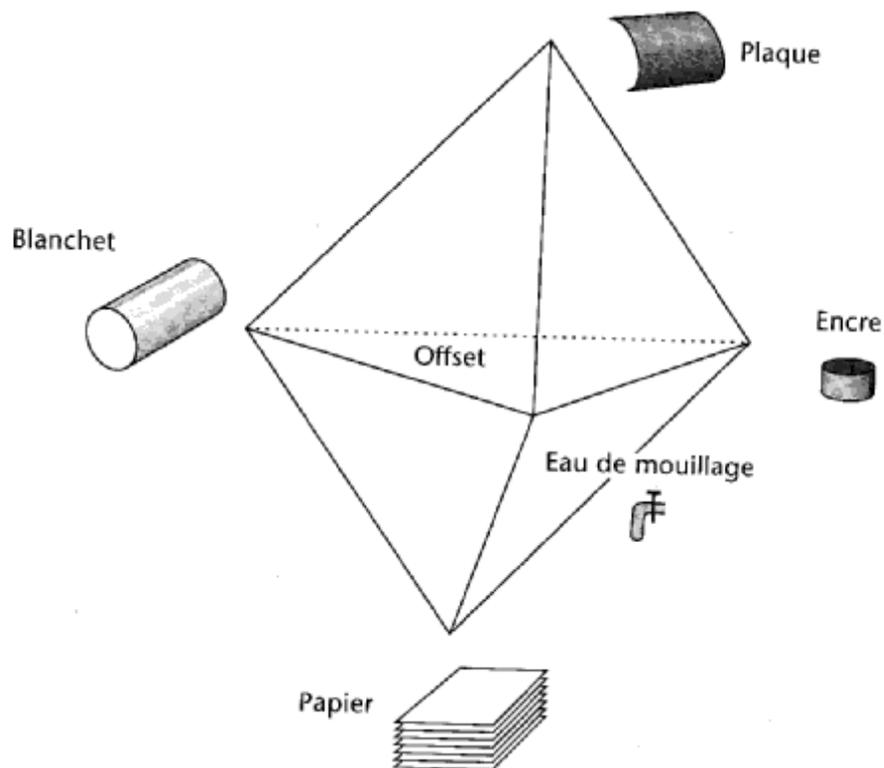


Figure 2. Vue générale du procédé offset

La base centrale de la double pyramide constitue l'architecture du procédé où les débits d'eau de mouillage et d'encre vont se mixer et se transférer de la plaque sur le blanchet, puis au papier. L'intérieur est en particulier le lieu d'interaction de l'eau de mouillage et de l'encre sur les diverses surfaces considérées. C'est l'endroit où naît l'émulsion avec, comme conséquence, des effets sur les propriétés rhéologiques (écoulements) de l'encre.

Pour maintenir une bonne qualité d'impression, le blanchet et la plaque doivent être exempts de poussières et les zones non imprimantes ne doivent pas contenir d'encres. Les opérations de nettoyage des rouleaux s'effectuent périodiquement soit au moyen d'un système automatique, soit manuellement avec des chiffons imbibés de solvants.

Il existe sur le marché un très grand nombre de produits nettoyants destinés à l'impression offset. Les solutions de nettoyage sont très souvent un mélange de plusieurs composés organiques volatils. Ce marché est actuellement en pleine évolution compte tenu des réglementations concernant certains types de solvants.

Les principales sources de pollution dans l'impression offset sont représentées figure 3. Elles proviennent essentiellement :

- des opérations de nettoyage (cylindres, blanchets, encriers, ...)
- de l'utilisation de solutions de mouillage contenant de l'alcool isopropylique et, parfois, d'autres composés organiques volatils ;
- des opérations de nettoyage particulier (spatules, carter, ...).

Les émissions connexes, comme des chiffons souillés et stockés en fûts ouverts, des bidons de solvants ouverts, des colles de blanchets, etc., contribuent à la pollution ambiante d'un atelier d'impression.

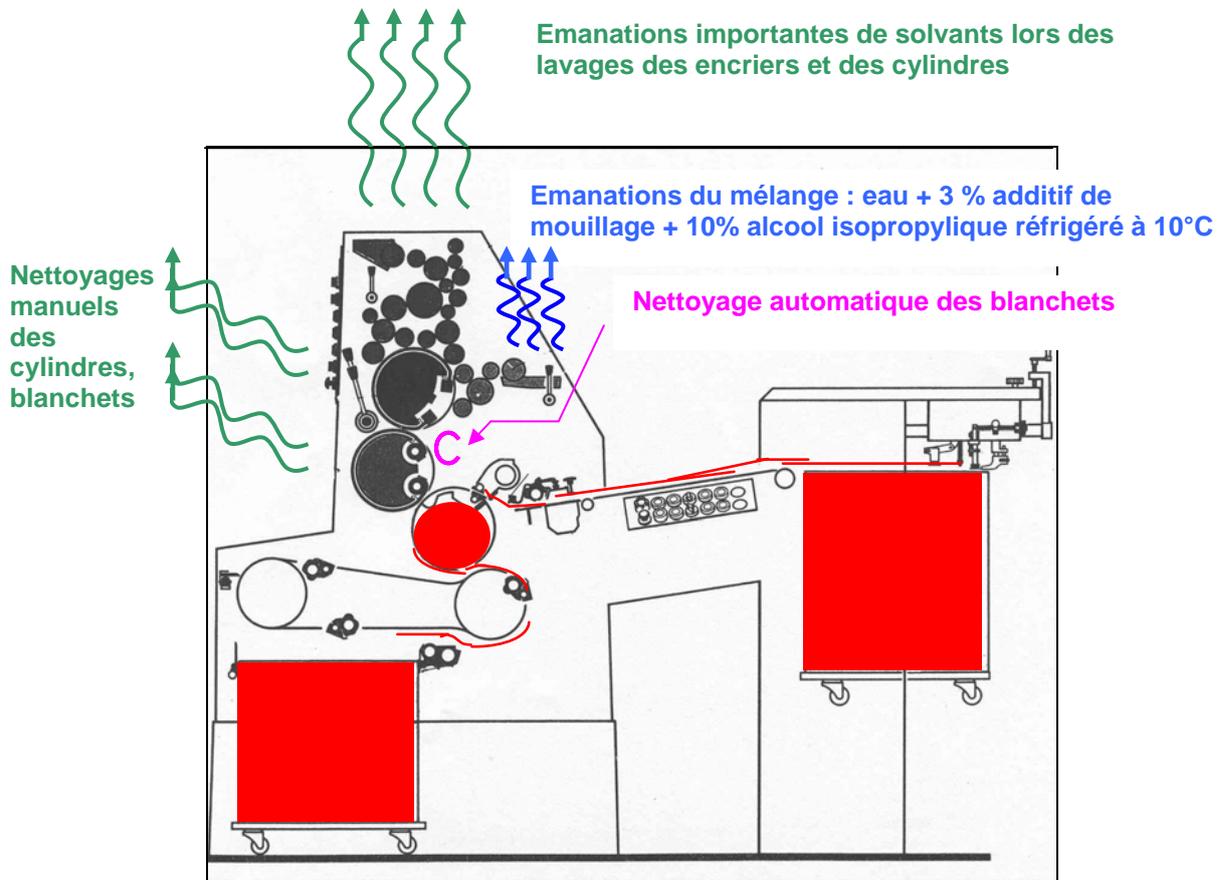


Figure 3. Les sources d'émissions de polluants dans l'impression offset

4. Paramètres d'influence

Les paramètres d'influence sélectionnés et leurs plages de variation ont été définis conjointement par les deux partenaires de l'étude. Le choix de ces paramètres permet de déterminer leurs influences réelles sur les émissions de COV afin de pouvoir orienter les axes d'amélioration et de réduction des émissions.

Les mesures ont été effectuées sur une machine Heidelberg Speedmaster SM 52 de format 36*52. Cette machine comporte deux groupes d'impression.

4.1. Nombre de groupes d'impression

Des mesurages sont réalisés avec deux groupes d'impression puis avec un seul groupe. Ces mesures permettent de voir l'influence du nombre de groupes lors du procédé d'impression et d'extrapoler les résultats à des machines à plus grand nombre de groupes d'impression. Deux couleurs ont été choisies pour réaliser les tests. Sur le premier groupe, l'encre est noire et celle du deuxième groupe est jaune.

4.2. Opérateur

Le rôle de l'opérateur est essentiel lors de l'impression et du nettoyage manuel de la machine. Il agit sur la qualité de l'imprimé, sur les écarts par rapport à un standard en fonction de la durée du tirage, lors des incidents de production inhérents au procédé (rupture de l'équilibre eau/encre,...), sur la quantité de produits nécessaires à l'impression ainsi que sur le taux de gâche (nombre d'exemplaires non vendables). Deux opérateurs (un professeur dans un lycée technique et un opérateur devenu formateur) réalisent certaines configurations avec les mêmes conditions opératoires et selon une méthode de travail définie préalablement. Avant le début des essais, la machine est réglée de manière standard et suivant les normes constructeurs (transfert d'image, réglage des rouleaux de mouillage et de la batterie d'encrage).

4.3. Quantité d'encre déposée

L'influence de la charge du job sur les émissions de COV est déterminée en faisant varier la quantité d'encre déposée sur la feuille. Cette quantité d'encre est mesurée au moyen d'un densitomètre. Les essais sont réalisés, d'une part, selon les standards du constructeur de la machine qui varient en fonction du type de papier et de la couleur de l'encre et, d'autre part, en augmentant l'intensité d'encre.

Les densités sont présentées tableau 3.

Papier	Couleur	Standard		+ Intense	++ Intense
		Densité	Engraissement	Densité	Densité
Fermé	Noir	1,80	12 - 15 %	2,0	2,25
	Jaune	1,10		1,25	1,50
Ouvert	Noir	1,45		-	-
	Jaune	1,20		-	-

Tableau 3. Densités en fonction du papier

Le taux d'engrondissement est défini comme étant l'élargissement du point de trame. Il correspond au respect du point de trame déposé sur la plaque aux densités optiques usuelles de l'impression offset feuilles. La mesure du taux d'engrondissement s'effectue par la mesure de la surface couverte réelle sur l'imprimé par rapport à la surface couverte mesurée sur la plaque.

En réalité, on utilise la formule de Murray Davies basée sur des mesures de densité optique de l'aplat et du tramé d'un tramé à 50 %.

Pourcentage de surface couverte mesurée sur l'imprimé = $1 - 10^{-Dt} / 1 - 10^{-Da}$
avec Dt : la densité optique du tramé (à 50 %),

Da : la densité optique de l'aplat (100 % de surface couverte).

Le rapprochement de cette valeur S, calculée par rapport à la valeur de la surface couverte sur la plaque (E = 50 %), nous donne l'élargissement du point de trame ou le taux d'engrondissement : $(S - E)\%$ = taux d'engrondissement d'un tramé à 50 %.

Rappel : La trame est définie comme étant un fin quadrillage gravé sur un film transparent permettant de transformer l'image continue du modèle en image discontinue.

Le densitomètre est un instrument qui permet de mesurer la quantité de rayon lumineux absorbée par une couleur imprimée sous trois filtres. Sa mesure s'exprime par la densité optique qui traduit le rapport de la quantité de lumière incidente I par la quantité de lumière émise I°. Le cologarithme de ce rapport permet le calcul de la densité optique sous le filtre considéré. Cette grandeur n'est qu'une approximation puisque l'on utilise abusivement les lois de la transmission pour un phénomène de réflexion.

4.4. Nature des encres

Il existe différents types d'encres en offset feuilles. Les tests ont été effectués avec des encres quadri (CMJN) quickset et des encres végétales.

Généralement, une encre est constituée de pigments, d'un véhicule (ou vernis) et d'additifs. Le véhicule, composé de résines dures et d'huiles végétales, de distillats de pétrole et de résines alkydes, a pour fonction de transporter les pigments (qui donnent la couleur) jusqu'au support, puis agit comme un liant en fixant les pigments au support. Les encres offset sont épaisses et pâteuses et ont une viscosité élevée.

Une encre quickset est composée de :

- pigments (10 - 30 %) ;
- résines dures (5 - 50 %) ;
- résines alkydes (0 - 15 %) ;
- distillat pétroliers ou huiles végétales (30 - 70 %) ;
- additifs (0 - 15 %).

Le séchage de ces encres se produit grâce à la séparation des huiles végétales et des résines, des distillats pétroliers. Ces derniers s'infiltrent dans le support par capillarité alors qu'une oxydation permet la polymérisation des huiles végétales insaturées. Ce phénomène est accéléré par la présence de métaux de transition appelés siccatifs.

La différence entre une encre végétale et une encre minérale se situe uniquement dans le remplacement de la phase hydrocarbure lourd (30 % pondérale) par de l'huile végétale (soja, colza,...). Toutes ces encres sèchent par oxydo-polymérisation.

Cinq encres quickset de couleurs noir et jaune, dont une encre végétale, ont été testées pour déterminer leur influence sur les émissions de COV générées lors du procédé d'impression.

4.5. Solution de mouillage

La solution de mouillage est, avec la plaque et l'encre, à la base du procédé offset. La solution de mouillage est en fait un mélange :

- d'eau (77 à 98 %) ;
- d'un additif de mouillage (2 à 3 %) ;
- d'alcool isopropylique (5 à 20 %).

L'alcool isopropylique est un composé organique volatil. Les risques présentés par l'alcool isopropylique sont dus à son caractère inflammable et irritant. C'est une des raisons pour laquelle les fournisseurs d'additifs de mouillage proposent **deux nouveaux types de produits de nouvelle génération**, les **réducteurs d'alcool** et les **substituts d'alcool**, qui permettent de supprimer totalement l'alcool. Ces substituts remplacent l'additif de mouillage et l'alcool isopropylique.

La solution de mouillage a différentes fonctions. Elle doit :

- mouiller les zones non imprimantes de la plaque rapidement, uniformément et sans excès ;
- s'émulsionner dans l'encre ;
- entretenir le caractère hydrophile de la plaque tout en la protégeant contre l'usure (par lubrification) et l'oxydation (par adsorption d'un film protecteur) ;
- s'évaporer le plus possible avant d'être transférée au papier.

Elle doit également :

- refroidir le film d'encre au niveau des toucheurs–encres. C'est un des rôles essentiels de l'alcool isopropylique de refroidir le système en s'évaporant. L'emploi de substituts d'alcool diminue l'efficacité du refroidissement, même si la solution de mouillage et les "tables d'encrage" sont réfrigérées ;
- évacuer les particules (poussières, papier, encre) susceptibles de se déposer sur la plaque ou le blanchet ;
- protéger les rouleaux contre une usure prématurée due à l'abrasion.

La solution de mouillage tourne en circuit fermé. En effet, après passage sur la presse, la solution non consommée retourne dans un bac réfrigéré appelé centrale de mouillage ou piscine. Le maintien de la concentration en alcool isopropylique et en additif se fait soit par pompes doseuses, soit au moyen d'alcoomètre à flotteur pour l'alcool isopropylique. La totalité de la solution de mouillage est remplacée généralement tous les quinze jours.

4.5.1. Composition de la solution de mouillage

- **L'eau** : la nature ou la composition d'une eau naturelle varie en fonction du lieu, des conditions météorologiques (concentrations en sels minéraux plus élevées par temps sec, eaux plus boueuses par mauvais temps) et en fonction des saisons. L'eau d'alimentation n'est pas la même d'un endroit à l'autre. Des imprimeries implantées dans des régions différentes, même si elles sont équipées de matériels identiques et utilisent les mêmes produits, ne travaillent pas dans les mêmes conditions. L'eau du robinet, inégale en approvisionnement, est responsable de phénomènes perturbant le processus d'impression. Pour l'offset, la caractéristique essentielle est le titre hydrotimétrique. Dans la pratique, on parle de dureté de l'eau du robinet. Le titre hydrotimétrique (TH) de l'eau indique la teneur en sels de calcium et de magnésium. Les eaux à faible concentration de sels sont dites « douces » (TH faible) et les eaux à forte concentration sont dites « dures » (TH élevé). La dureté de l'eau, préconisée pour la solution de mouillage, doit être comprise entre 9 et 27 français (°F). Une eau du robinet inadaptée peut être à l'origine de perturbations dans le processus d'impression. L'eau dure contient des sels qui bouchent les pores des rouleaux et leur font perdre leur aptitude à recevoir l'encre. L'eau douce est sensiblement plus corrosive et peut engendrer une oxydation rapide des plaques et la corrosion de certains éléments mécaniques de la machine.
Pour s'affranchir de toutes ces variations, de l'eau déminéralisée reminéralisée a été utilisée pour toutes les expériences de manière à avoir toujours les mêmes caractéristiques.

- **L'additif de mouillage** qui représente 2 à 3 % de la solution. Il doit remplir les fonctions essentielles suivantes :
 - fixer et stabiliser le pH de la solution par le système tampon qui est un acide faible en équilibre avec son sel ;
 - réduire la tension superficielle de la solution par des tensioactifs et permettre d'améliorer le mouillage de la plaque et l'émulsionnement avec l'encre ;
 - empêcher les développements bactériens par des agents biocides ;
 - protéger les éléments de la machine contre la corrosion au moyen d'inhibiteurs de corrosion ;
 - empêcher les dépôts insolubles (calcaire, par exemple) par des agents séquestrant ;
 - empêcher les accumulations sur le blanchet ;
 - limiter la formation de mousse.

Trois additifs de mouillage différents ont été testés.

- **L'alcool isopropylique** qui a plusieurs rôles essentiels au bon fonctionnement du procédé offset :
 - il facilite le mouillage de la plaque en diminuant sensiblement la tension superficielle de la solution (à température ambiante, l'énergie de surface de l'eau pure est de 73 millinewton par mètre (mN/m) tandis que celle de l'alcool isopropylique est de 22 mN/m. Celle d'une solution contenant 10 % d'alcool isopropylique est d'environ 45 mN/m) ;
 - il augmente la viscosité de la solution de mouillage ce qui en facilite le transport sous la forme d'un film, en particulier à vitesse réduite ;
 - il limite l'émulsionnement de la solution de mouillage dans l'encre et améliore la stabilité de l'émulsion ;
 - il s'évapore très rapidement et permet, d'une part, l'évaporation d'une grande partie de la solution de mouillage avant qu'elle n'arrive au blanchet et, d'autre part, en s'évaporant, il refroidit les rouleaux qui sont échauffés par friction. La température de l'encre est donc maintenue constante pour un bon fonctionnement.

L'alcool isopropylique est classé dans la catégorie des COV par sa volatilité (pression de vapeur supérieure à 10 Pa). C'est pourquoi, des réducteurs d'alcool et des substituts d'alcool se sont développés au cours de ces dernières années. Ils sont en général moins volatils.

■ **Les produits de nouvelle génération : réducteurs et substituts d'alcool isopropylique**

Les réducteurs d'alcool permettent de diminuer le taux d'alcool de 10 - 12 % à 5 %, sans modification de roulage, et préparent les imprimeurs à la suppression totale de l'alcool isopropylique. Ces réducteurs d'alcool sont utilisés avec des additifs spécifiques.

Quant aux substituts d'alcool, ils permettent de supprimer totalement l'alcool. Ces produits nécessitent généralement une évolution des réglages du mouillage comme, par exemple, la dureté des rouleaux mouilleurs, des pressions différentes des pressions habituelles entre rouleaux mouilleurs. Ces produits assurent les fonctions de l'additif de mouillage et de l'alcool isopropylique.

Les substituts d'alcool sont généralement formulés à base d'alcools lourds peu volatils par définition, ou d'éthers de glycol. Du fait de la présence de charges polluantes, les solutions de mouillage usées ne peuvent en aucun cas être évacuées dans le réseau d'eaux usées.

Différents pourcentages d'alcool isopropylique (5, 10, 15 et 20 % en masse) ainsi que des réducteurs et substituts d'alcool ont été testés.

4.5.2. Contrôles de la solution de mouillage

➤ **Le pH**

Les solutions de mouillage acides présentent un certain nombre d'avantages : elles favorisent une bonne stabilité de l'émulsion eau / encre, une bonne qualité d'impression, un bon dégraissage de la plaque, etc. Il est cependant fondamental d'ajuster et de fixer le pH de la solution à une valeur appropriée sachant que la plupart des problèmes apparaissent en dehors de la plage de valeurs 4,5 à 5,5 environ. Le pH de la solution de mouillage est contrôlé au moyen d'un pH mètre.

➤ **La température**

La réfrigération de la solution de mouillage a pour but de refroidir les plaques, de réduire l'évaporation de l'alcool, de stabiliser la viscosité de la solution de mouillage, de réduire la prolifération des algues et des bactéries et de réduire la tendance au voilage lors de fortes chaleurs.

Remarque : le voilage est un défaut offset qui se manifeste par un dépôt d'encre sur la plaque dans les zones non imprimantes sous forme d'une fine pellicule.

La réfrigération est obtenue par un système de régulation de température qui permet de compenser les variations dues au roulage sur la presse et aux conditions climatiques de l'atelier. La température est mesurée et réglée à environ 10°C.

➤ **La conductivité**

La conductivité, qui s'exprime en micro-siemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$), permet de mesurer les charges électriques transportées (pouvoir conducteur) dans la solution de mouillage. Elle indique le pouvoir actif directement proportionnel à la quantité d'additif mélangée pour une eau donnée.

Lorsque des éléments perturbateurs viennent s'introduire dans la solution de mouillage au cours du procédé offset, la conductivité varie et permet de contrôler la pollution de la solution.

➤ **Le pourcentage d'alcool isopropylique**

La quantité d'alcool isopropylique est mesurée au moyen d'un pèse alcool avec compensation en température.

Ces quatre paramètres sont contrôlés au moins trois fois durant chaque expérience.

4.6. Le papier

Lors du transfert de l'eau et de l'encre sur le papier, la quantité d'eau apportée dans les zones imprimantes (parties hydrophobes) par l'encre émulsionnée est supérieure à la quantité d'eau apportée dans les zones non imprimantes (parties hydrophiles). Les quantités d'eau et d'encre nécessaires à l'impression dépendent également de la nature du papier avec une densité d'encrage spécifique à chaque type de papier. Les principales caractéristiques de surface du papier déterminant la quantité de solution de mouillage transférée sont :

- la rugosité de surface : c'est un des paramètres le plus important quant à la performance d'impression. Une surface de papier bien lisse, homogène et régulière permettra d'obtenir un transfert et une qualité d'impression uniforme du fait de la régularité de pression entre le blanchet et le papier ;
- la porosité de surface : elle correspond au volume des pores et des interstices du papier susceptibles d'être remplis par un fluide. La dimension des pores varie en fonction du type de papier ;
- l'énergie de surface : elle correspond aux interactions liquide/solide complexes.

Deux types de papier sont choisis pour réaliser les tests :

- papier couché brillant (fermé) : lumiart brillant est un papier qui s'emploie préférentiellement pour des impressions de bonne qualité. Ce papier a reçu plusieurs enductions successives à base de pigments minéraux. Les fibres sont totalement recouvertes. Sa surface lisse et peu poreuse permet, d'une part, un meilleur transfert d'encre depuis le blanchet et, d'autre part, laisse pénétrer moins de pigments ;
- papier couché mat (ouvert) : gprint mat est un papier plus absorbant que le précédent.

4.7. Les solvants de nettoyage

Il existe sur le marché un très grand nombre de produits nettoyants destinés à l'impression offset. Le nettoyage des rouleaux, blanchets, encriers,... s'effectue, en général, avec des produits constitués d'un mélange de solvants organiques issus du pétrole. Ces produits ont un pouvoir dissolvant puissant qui rend leur manipulation dangereuse. Ils sont généralement volatils et émettent des vapeurs à température ambiante qui peuvent être inhalées par l'opérateur. Ils font très souvent partie de la famille des composés organiques volatils.

On retrouve essentiellement :

- les solvants d'ancienne génération : on peut trouver tous les solvants à point éclair négatif (type essence C) ou les solvants utilisés de façon ponctuelle (dichlorométhane, acétone,...) ;
- les solvants actuels : ils regroupent tous les solvants qui ont un point éclair compris entre 0 et 55 °C et constituent la majorité des solvants utilisés ;

- les solvants de nouvelle génération : ils regroupent tous les solvants à haut point d'éclair (supérieur à 55 °C) et/ou les solvants diluables à l'eau et/ou les solvants à base d'huile végétale.

Des mesures d'émissions de COV ont été réalisées avec des solvants actuels et de nouvelle génération dont les caractéristiques physico-chimiques sont répertoriées tableau 4. Onze solvants différents ont été testés dont deux ont été dilués avec de l'eau. Les émissions de COV ont été également mesurées sur une fontaine de nettoyage. Cette fontaine permet d'utiliser un solvant de nettoyage en circuit fermé. Le solvant, une fois souillé, est en général repris et remplacé par du solvant neuf. Ce dispositif est intéressant pour le nettoyage des spatules, des laveurs et des mouilleurs.

Solvant	Point d'éclair (°C)	T auto-inflammation (°C)	Point d'ébullition (°C)	Tension de vapeur (Pa à 20°C)	Densité relative (20°C)
S1	45	> 200	> 150	200	0,82
S2	62	> 200	180 - 217	50	0,79
S3	> 40	> 200	135 - 260	250	0,764
S4	62	> 200	170 - 260	50	0,785
S5	> 25	> 280	140 - 170	1000	0,76
S6	65	> 200	180 - 220	100	0,79
S7	47 23<PE<55	-	-	110 000 <Pvap (50°C) < 175 000	< 1
S8	200	-	-	-	< 1
S9	> 60	-	-	-	-
S10	62	> 200	180 - 217	50	0,79
S11	> 61	>230	180 - 215	300 à 37.8 °C	0,785

Tableau 4. Caractéristiques physico-chimiques des solvants utilisés

4.8. Le nettoyage

Le nettoyage de la batterie d'encrage, des blanchets et du cylindre de marge peut s'effectuer soit manuellement, soit au moyen de systèmes automatiques.

Le nettoyage manuel est réalisé au moyen d'une pissette de solvant et de chiffons propres.

Actuellement, deux types d'installation de nettoyage automatique sont proposés :

- un système par pulvérisation (nettoyage au moyen de brosses) ;
- un système par contact (utilisation de tissus).

La machine SM 52 testée comporte un système de nettoyage automatique par contact qui permet de laver le cylindre porte-blanchet et le cylindre d'impression. La machine est équipée d'un réservoir comportant trois bacs de 5 litres, deux pour le solvant de nettoyage et un pour l'eau. L'eau permet d'éliminer les « pétouilles » (poussières provoquant des défauts de l'image) sur les blanchets.

Pour effectuer le lavage du cylindre d'impression, la tête du dispositif de lavage pivote contre le cylindre d'impression. Au cours du lavage de chacun des deux cylindres, le solvant de nettoyage et l'eau sont pulvérisés sur le tissu de lavage selon les réglages et le cylindre est nettoyé avec le tissu de lavage conformément aux réglages effectués auparavant sur le pupitre. Le dispositif de lavage automatique de la batterie d'encrage comporte un tuyau d'égouttage (buse) pour le produit de lavage et pour l'eau. La racle vient ensuite s'appliquer sur les rouleaux pour récupérer les résidus d'encre mélangés avec le solvant.

Tous les équipements annexes sont nettoyés manuellement.

4.9. Le blanchet

Le blanchet est un matériau complexe, multicouche et caoutchoutique qui, la plupart du temps, possède une épaisseur voisine de 2 mm. Le rôle du blanchet est de servir d'agent de transfert entre la plaque et le papier. Il doit avoir deux fonctions essentielles :

- il doit réaliser une barrière à l'eau de mouillage de manière à préserver le papier et doit être mouillé le moins possible pour conserver toutes ses propriétés mécaniques ;
- il doit utiliser la propriété de compressibilité de la forme souple dans le but de mieux transférer l'encre sur la surface du papier (augmentation de la surface de contact par pression blanchet / papier).

D'une manière générale, tous les blanchets ont une structure relativement proche qui comporte :

- une carcasse, faite de toiles de coton enduites de couches élastomères, destinée à assurer des performances mécaniques. L'ajout de solvant, comme le toluène, permet d'obtenir une couche élastomère pâteuse ;
- une couche de surface (ou couche décalcographique) chargée d'apporter les performances de transfert. Elle est destinée à recevoir l'encre, tout en refusant au maximum la solution de mouillage, et à assurer son transfert dans les meilleures conditions possibles. La couche décalcographique est constituée d'un mélange en proportions variables d'élastomères à base de butadiène-styrène (SBR), butadiène-nitrile (NBR), isobutylène-isoprène copolymérisés (IIR), chloroéthylène-polysulfure copolymérisés et polyéthylène-propylène diamine (EPDM). A ces produits, on ajoute des charges diverses qui en augmentent la dureté (craie, noir de carbone, stéarine), des plastifiants, des agents colorants, des agents de protection pour augmenter la résistance à la lumière, des agents de vulcanisation et des accélérateurs de vulcanisation (soufre, oxyde de zinc) ;
- une couche compressible en élastomère formulé : l'adjonction d'une ou plusieurs couche(s) poreuse(s) augmente, de façon importante, l'aptitude à la compression du complexe.

La fabrication d'un tel produit comprenant autant de composantes chimiques entraîne, au-delà de la manipulation de ces composants, un process industriel soumis à de fortes contraintes réglementaires. Le traitement des toiles, le malaxage, la vulcanisation sont autant de procédés qui peuvent poser des problèmes d'un point de vue hygiène et santé au travail. Face à ces contraintes, de nouveaux blanchets, à base non plus de toiles et de caoutchouc mais de polymères, arrivent sur le marché.

Deux types de blanchets sont testés : un blanchet traditionnel en caoutchouc et un blanchet en polymère pour déterminer leurs influences sur les émissions de COV.

Une synthèse de tous les paramètres d'influence choisis est réalisée figure 4.

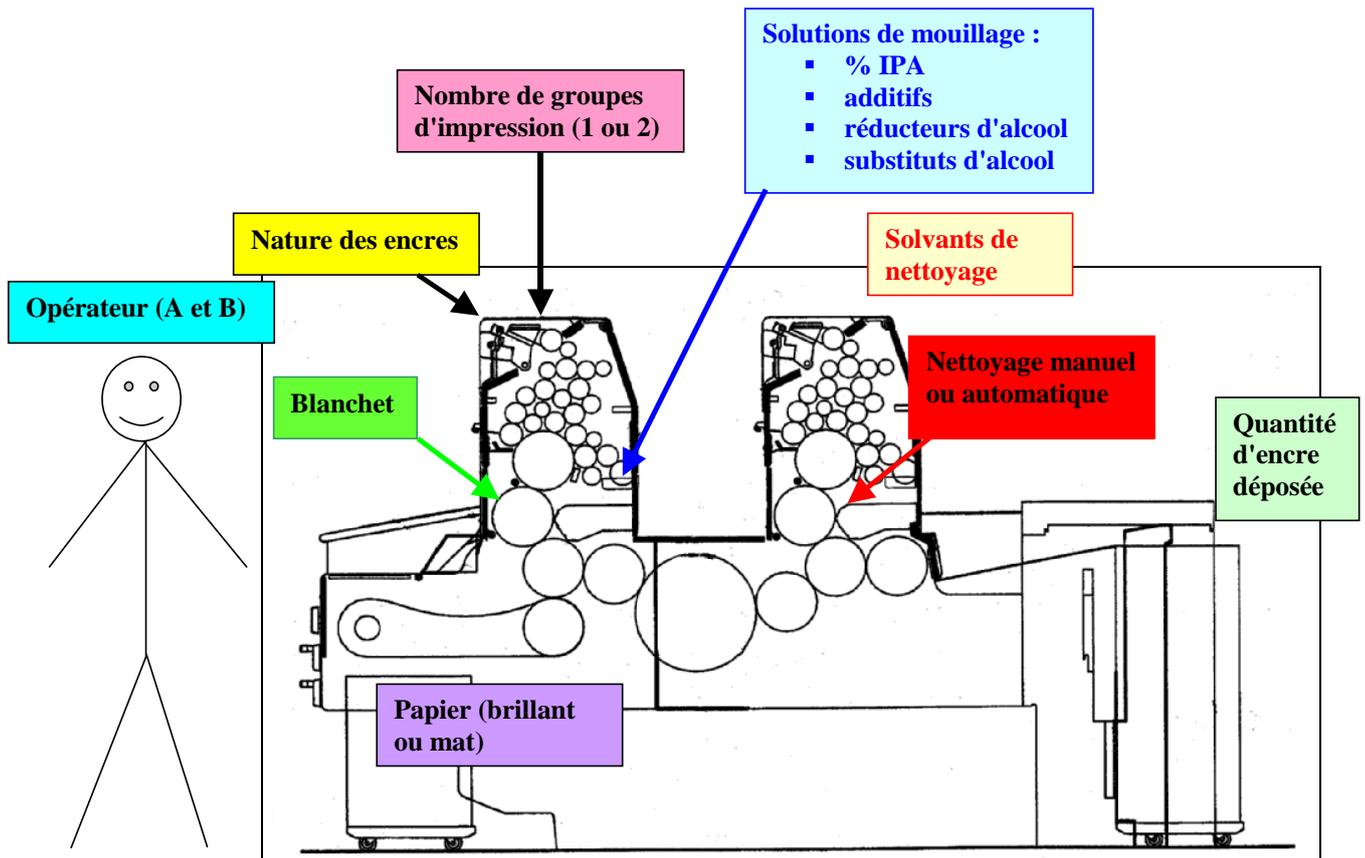


Figure 4. Paramètres d'influence intervenant dans le procédé offset feuilles

5. Les COV : dangers pour l'homme et risques pour l'environnement

De manière générale, lors du procédé d'impression offset feuilles, on retrouve essentiellement comme COV : l'alcool isopropylique et les solvants de nettoyage.

5.1. Toxicologie - dangers pour l'homme

L'alcool isopropylique est irritant pour les muqueuses et les voies respiratoires mais surtout pour les muqueuses oculaires. On peut redouter à forte concentration son action narcotique sur le système nerveux.

Les solvants sont des irritants cutanés, oculaires et respiratoires qui peuvent avoir des effets sur :

- La peau : le contact répété ou prolongé avec la peau prédispose aux dermatoses.
- Le système nerveux central.
Suivant le degré d'exposition, ils peuvent provoquer :
 - des difficultés de concentration,
 - de la fatigue,
 - des troubles de coordination,
 - des maux de tête,
 - des troubles de la mémoire,
 - une détérioration des fonctions sensorielles (vision des couleurs).
- Le système digestif : à fortes doses, tous les solvants peuvent être responsables de nausées et de vomissements.
- Les reins : l'exposition régulière aux solvants, même à de faibles concentrations, entraîne une irritation rénale avec perte d'albumine et de cellules dans les urines.

Les affections susceptibles d'être reconnues et indemnisées au titre de la législation sur les maladies professionnelles figurent aux tableaux n° 4 bis, 12 et 84 des maladies professionnelles.

Les encres utilisées en offset sont des encres quickset qui sont le plus souvent à base d'huiles végétales. Ces encres sont des substances grasses et visqueuses constituées par un colorant (le pigment), un corps gras dans lequel le pigment se trouve en suspension (le véhicule) et des adjuvants. L'exposition à l'encre peut se faire par inhalation s'il y a formation d'aérosols ou par contact avec la peau.

5.2. Risques pour l'environnement

L'alcool isopropylique et les solvants de nettoyage sont les principaux composés organiques volatils trouvés dans les ateliers d'impression. Leur émission dans l'atmosphère contribue à la production d'ozone dans la troposphère par réaction photochimique, augmentant les risques pour les personnes asthmatiques ou souffrant d'insuffisance respiratoire. En cas de rejet dans un milieu aquatique, les solvants surnageront à la surface. Il peut être envisagé de stopper leur progression par des barrages flottants et, éventuellement, de récupérer cette pollution au moyen d'adsorbants par exemple.

La biodégradabilité des COV est faible, variable selon leur nature : les solvants pétroliers à forte teneur en hydrocarbures aromatiques seront, par exemple, plus toxiques pour les organismes aquatiques.

6. Programme d'essais

6.1. Etablissement du programme d'essais

Le programme d'essais prend en compte un maximum de paramètres d'influence. Un seul paramètre change pour chaque expérience. Afin de pouvoir comparer l'influence d'un paramètre par rapport à un autre, une expérience de référence a été choisie en prenant en considération les normes constructeurs et les méthodes de travail utilisées habituellement dans les ateliers d'impression. Cette expérience de référence est réalisée au moins trois fois par chacun des opérateurs. Elle est basée sur les paramètres suivants :

- l'impression est réalisée avec deux groupes d'impression ;
- la charge du job est standard ;
- une encre noire et une encre jaune standard ;
- une solution de mouillage comprenant un additif standard et 10 % d'alcool isopropylique ;
- du papier fermé (format : 32*42) ;
- un solvant de nettoyage classique ;
- un nettoyage automatique ;
- un blanchet traditionnel en caoutchouc.

Le plan d'expérience utilisé est représenté tableau 5. Un résumé des expériences pour chacune des configurations est présenté tableau 6.

Configuration	Expériences	Paramètres étudiés
1	1, 2, 3, 4, 60	Expériences de référence avec le conducteur A
	22, 23, 24	Expériences de référence avec le conducteur B
	19, 20	Nombre de groupes d'impression
	5, 6, 28	Charge de l'encre
	25, 26, 27, 53	Nature des encres
	17, 21, 56, 57	% d'alcool isopropylique
	41-45, 50 – 52, 61	Additif, réducteur et substitut d'alcool isopropylique
	18, 39, 40	(*) Manip de référence avec Lavage Manuel dans les conditions standards et "anormales" (" <i>travaillant bien et travaillant mal</i> ")
	8	Impression seule
	29	Nature du papier
	49	Nouveau blanchet
2	7, 9-16, 54, 55, 59	Solvants de nettoyage – Lavage Automatique
	30-38	Solvants de nettoyage – Lavage Manuel
	46, 47, 48	Lavage automatique des différentes parties de la machine
-	58	Fontaine à solvant

Tableau 6. Synthèse des expériences pour chacune des configurations en fonction des paramètres étudiés

Remarques :

L'expérience de référence a été réalisée plusieurs fois (cinq fois par le conducteur A et trois fois par le conducteur B) pour vérifier sa répétabilité. Le conducteur A a réalisé deux expériences supplémentaires étant donné les différences de conditions atmosphériques entre le mois d'octobre et le mois de décembre. **La comparaison des expériences de référence des deux conducteurs de machines permet de déterminer l'influence du paramètre "opérateur". Les autres expériences sont ensuite comparées à ces expériences de référence pour évaluer l'influence des paramètres étudiés.**

(*) L'expression "*travaillant bien*" est définie comme un travail respectant les conditions d'encrage et les standards de l'impression (charge d'encre identique pour chaque tirage, réglage de la batterie d'encrage selon les standards du constructeur, réglage du débit d'eau de mouillage et d'encre de manière à être dans les standards du constructeur....). Le lavage des différentes parties de la machine est effectué manuellement en respectant les quantités de solvants à utiliser.

L'expression "*travaillant mal*" correspond à un non respect des réglages standards de la machine. L'expérience est réalisée en ne respectant pas les quantités d'eau et d'encre déposées sur la feuille,.... Le lavage manuel est effectué en exagérant sur la quantité de solvants à utiliser.

6.2. Méthodologie

Les mesurages des émissions de COV sont effectués pour chaque expérience et sont comparés à l'expérience de référence. Deux configurations de tests sont mises en place.

La première configuration consiste à :

- préchauffer la machine pendant 5 minutes ;
- imprimer environ 6 000 feuilles à 8 000 tours par heure ;
- enlever l'encre des encriers ;
- mettre en marche le nettoyage automatique ou manuel (au moyen d'une pissette de solvant et des chiffons) du ducteur, de la batterie d'encrage, du blanchet et du cylindre de marge ;
- nettoyer manuellement les joues, les spatules et les lames des deux encriers.

Cette configuration est suivie pour tous les tests en dehors des tests spécifiques aux solvants de nettoyage (expériences : de 1 à 6, 8, de 17 à 29, de 39 53, de 56 à 58, 60, 61). La durée d'une expérience est d'environ une heure.

La seconde configuration consiste à réaliser quatre cycles de nettoyage correspondant à un travail chez un imprimeur (dans une journée de travail, quatre lavages sont en général effectués) :

- Préchauffer la machine durant cinq minutes.
- **Premier cycle :**
 - **imprimer** 575 feuilles à 8 000 tours / heure (pour qu'il y ait suffisamment d'encre sur les rouleaux) ;
 - lancer le nettoyage automatique et / ou manuel de la batterie d'encrage, du blanchet et du cylindre de marge, des spatules ;
 - encrer la batterie de rouleaux d'encrage pendant deux minutes à 5 000 tours / heure.

➤ **Second cycle :**

- **imprimer** 575 feuilles à 8 000 tours / heure ;
- lancer le nettoyage automatique et / ou manuel de la batterie d'encre, du blanchet et du cylindre de marge, des spatules ;
- encrer la batterie de rouleaux d'encre pendant deux minutes à 5 000 tours/heure.

➤ **Troisième cycle :**

- **imprimer** 575 feuilles à 8 000 tours / heure ;
- lancer le nettoyage automatique et / ou manuel de la batterie d'encre, du blanchet et du cylindre de marge, des spatules ;
- encrer la batterie de rouleaux d'encre pendant deux minutes à 5 000 tours/heure.

➤ **Quatrième cycle :**

- **imprimer** 575 feuilles à 8 000 tours / heure ;
- lancer le nettoyage automatique et / ou manuel de la batterie d'encre, du blanchet et du cylindre de marge, des spatules.

Cette configuration est suivie pour les expériences : 7, 9 à 16 et de 30 à 38, 54, 55 et 59.

Les expériences, quelle que soit la configuration utilisée, sont d'environ une heure. Par contre, les expériences dans lesquelles le nettoyage est effectué manuellement sont légèrement plus longues (1 h 20).

6.3. Conditions d'essai

Les mesures ont été réalisées de mi-octobre à fin décembre 2005. La machine a été réglée selon les normes constructeurs par les deux opérateurs avant le début des expériences. Le format des feuilles est de 32*42 cm. Le protocole d'essai, conçu pour obtenir des résultats dans des configurations identiques, a été respecté par les deux opérateurs.

7. Matériel et méthode

7.1. Banc d'essai

7.1.1. Description

Le banc d'essai est composé d'une cabine ventilée raccordée via un convergent à un conduit d'extraction (cf. figure 5).

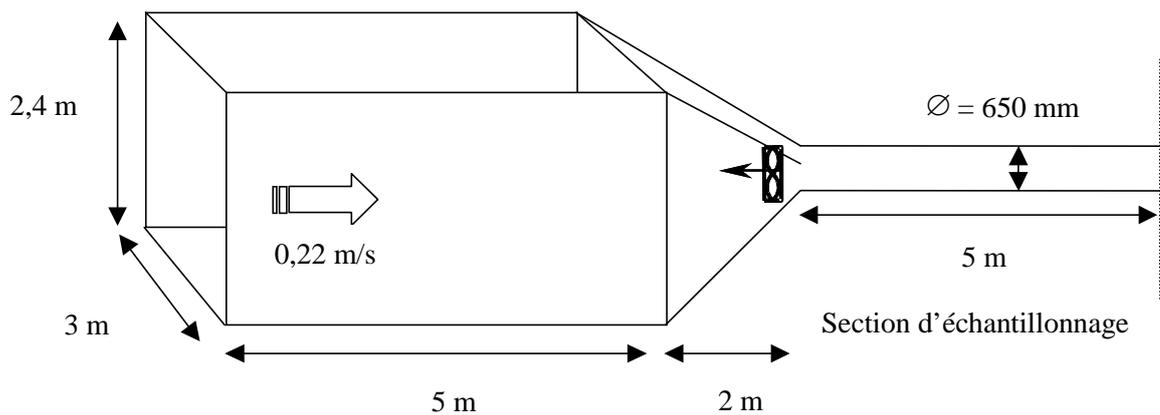


Figure 5. Description du banc d'essai

La machine à imprimer est placée dans la cabine ouverte balayée par un courant d'air uniforme et suffisant pour que tous les polluants émis soient collectés dans le conduit (cf. photo 1).



Photo 1. Machine SM 52 et ses équipements dans la cabine

7.1.2. Réglage de la machine

La machine à imprimer a été réglée au préalable par les conducteurs de machines avant le début des expérimentations.

- La machine à imprimer choisie respecte une usure correspondant à une machine en production chez les imprimeurs (rouleaux avec une usure de 60 %, 24 millions de tours).
- La machine à imprimer a été dépolluée : vidange et nettoyage complet de la centrale de mouillage et du circuit de mouillage, démontage et nettoyage de l'ensemble des rouleaux de la batterie d'encre ainsi que du mouillage.
- La dureté shore des barboteurs et des rouleaux toucheurs mouilleurs a été mesurée au moyen d'un duromètre (Zwick & Co KG).
- La machine a été réglée dans les standards constructeurs et contrôlée régulièrement durant les essais (batterie d'encre, système de mouillage, transfert d'image).
- A chaque changement de blanchet, celui-ci a été tendu au moyen d'une clé dynamométrique.
- L'eau de mouillage a été préparée sur une base d'eau déminéralisée et reminéralisée pour tous les essais.
- Les plaques offset ont été fabriquées par le même appareil selon les standards en vigueur (contrôle de copie de plaque, même développement, même plaque)
- Les plaques offset ont été changées régulièrement après contrôle d'usure afin de garantir les mêmes conditions d'impression.

7.1.3. Mesure du débit d'air de ventilation

Le débit d'air dans la cabine est mesuré au moyen de la méthode par traçage gazeux. Cette méthode consiste à injecter un débit de traceur connu dans le flux d'air circulant dans le conduit. Le rapport de dilution du traceur dans l'air est proportionnel au débit d'air.

Le débit d'air Q_{air} ($\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) s'écoulant dans le conduit est calculé à partir de la relation :

$$Q_{\text{air}} = \frac{10^6 \cdot Q_{\text{He}}}{C_2 - C_1}$$

avec :

Q_{He} : débit de traceur ($\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) ;

C_1 : concentration moyenne du traceur en l'absence de toute génération (ppm) ;

C_2 : concentration moyenne du traceur lorsqu'il est injecté dans le conduit (ppm).

Le débit d'air circulant dans le conduit est donné en $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (à une température de 0°C et une pression de 1013 mbars). Le débit réel Q_{Rair} est calculé, à partir de la température T de l'air au point de prélèvement et de la pression atmosphérique P , par la formule :

$$Q_{\text{Rair}} = Q_{\text{air}} \frac{273,15 + T}{273,15} \cdot \frac{1013,025}{P} \text{ avec } P \text{ en mbar et } T \text{ en } ^\circ\text{K}$$

Le point de prélèvement est choisi à une distance suffisante du point d'injection afin d'obtenir un mélange homogène du traceur. La technique de mesure est décrite dans la norme NFX 10-141 [6].

La concentration en gaz traceur (hélium) est mesurée au moyen d'un spectromètre de masse (Ultratest UL100+ Leybold) relié à un boîtier de commande comportant, notamment, une pompe de prélèvement au débit de $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

L'équipement de mesure et son logiciel d'acquisition PRE-E-VENT, développé par l'INRS, permettent l'enregistrement simultané des concentrations en hélium et donc la visualisation directe à l'écran des profils de concentration.

Le spectromètre de masse est étalonné au moyen d'une bouteille de gaz étalon d'hélium à 100 ppm.

7.2. Analyses qualitatives

Les analyses qualitatives des **solvants de nettoyage**, des **encres**, des **produits purs constituant les solutions de mouillage** et des **solutions de mouillage** sont réalisées au moyen de prélèvements de la phase vapeur sur tubes Tenax[®].

Les tubes Tenax[®] ont été utilisés pour identifier les substances organiques présentes dans l'atmosphère de travail. Sans être universels, ces supports de prélèvements ont la propriété de piéger un nombre important de composés organiques. L'analyse de ces tubes a été réalisée par spectrométrie de masse couplée à la désorption thermique et à la chromatographie en phase gazeuse. Les conditions opératoires de la technique employée sont :

- *Thermodésorbeur :*
 - type d'appareil : Perkin Elmer ATD 400 ;
 - température du four de désorption : 280°C pendant 10 min ;
 - débit 30 mL/min - split out ;
 - température du piège froid : - 30°C ;
 - réinjection : de - 30°C à 280°C pendant 1 min à raison de 40°C /s ;
 - injection par division.

- *Chromatographie en phase gazeuse :*
 - type d'appareil : Perkin Elmer Auto System XL GC ;
 - logiciel de traitement de données : Turbo Mass 4.4.0 ;
 - colonne : RTX5SILMS, longueur 60 m, diamètre intérieur 0,25 mm, épaisseur du film 0,25 µm ;
 - température : 40°C pendant 4 min ; 180°C à 10°C/min, 180°C pendant 2 min ;
 - débit de la colonne : 1 mL/min.

- *Spectromètre de masse :*
 - type d'appareil : Perkin Elmer Turbo Mass Gold ;
 - mode d'ionisation : impact électronique ;
 - résolution : 20 à 300 UMA pendant 20 min ;
 - solvant delay 0,5 min.

- *Tube :*
 - solution de mouillage et papier : Headspace à 40 °C pendant 30 min ;
 - solvant : Headspace à 40 °C pendant 30 s ;
 - encre : Headspace à 100 °C pendant 30 min ;
 - prélèvement passif.

7.3. Analyses quantitatives : mesures des concentrations de COV

Les concentrations dans la section d'échantillonnage sont mesurées par deux techniques différentes.

7.3.1. Prélèvements sur tubes de charbon actif

Les prélèvements de l'air dans la section d'échantillonnage du conduit sont au nombre de cinq (cf. figure 6).

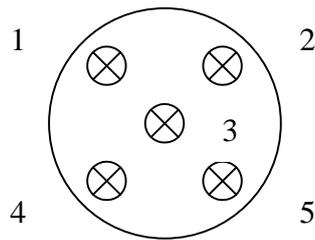


Figure 6. Localisation des points de prélèvements dans le conduit

Les prélèvements d'air sont effectués au moyen de pompes GILIAN Low Flow Sampler model 113-DC. Les vapeurs de solvants sont captées par des tubes d'échantillonnage en verre de type NIOSH remplis de charbon actif de marque SKC contenant deux plages (100 mg suivi de 50 mg).

Le débit des pompes est fixé à environ exactement $200 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$. Les prélèvements sont effectués pendant toute la durée de l'expérience, à partir du démarrage de l'impression jusqu'à la fin du nettoyage, soit environ 60 minutes. La concentration moyenne est calculée sur la durée de l'expérience dans la configuration choisie. Chaque pompe est calibrée en début et fin d'expérience au moyen d'un Gilibrator (cf. photo 2).



Photo 2. Calibration des pompes de prélèvement

Les tubes de charbon actif sont ensuite désorbés dans 1 mL de disulfure de carbone selon la norme NF X43-252 [7] puis analysés en chromatographie gazeuse sur une colonne apolaire (SPB-1). Le disulfure de carbone est peu soluble dans l'eau mais miscible à de nombreux solvants organiques.

Les conditions chromatographiques employées sont :

- type d'appareil : HP 5890 ;
- colonne : Supelco SPB-1, longueur 60 m en verre, diamètre intérieur de 0,75 mm ;
- gaz vecteur : hélium 10,7 mL.min⁻¹ ;
- injecteur : 230°C, injection automatique 0,2 µL ;
- détecteur : 220°C, à ionisation de flamme ;
- programmation de température : 10 min à 35°C, de 35°C à 65°C à 3°C.min⁻¹, 8 min à 65°C, de 65°C à 165°C à 8°C.min⁻¹ ; température finale 165°C ;
- durée de l'analyse : 40 min.

Certains prélèvements et tous les produits purs sont analysés en spectrométrie de masse couplée à un chromatographe pour permettre l'identification du mélange gazeux et la connaissance de la constitution des produits purs.

La pollution générée par les chiffons propres, une pile de feuilles fraîchement imprimées, le blanchet traditionnel en caoutchouc et le nouveau blanchet en polymère a été mesurée dans une enceinte d'un m³ au moyen de prélèvements sur tubes de charbon actif.

7.3.2. Détecteur PID

Les concentrations en solvants sont mesurées en temps réel et in situ dans le conduit au moyen de deux détecteurs PID portables (cf. photo 3). Ils permettent de donner une lecture directe de la concentration des composés organiques volatils ayant un potentiel d'ionisation inférieur à 10,6 eV. Ces détecteurs ne sont pas sélectifs et ne permettent pas de mesurer précisément un produit identifié sauf dans le cas où ce produit est le seul présent dans l'atmosphère. Les mesures sont donc données en équivalent isobutylène (C₄H₈). Des corrélations peuvent être effectuées avec les prélèvements sur tubes de charbon actif. Ces appareils sont calibrés au moyen d'une bouteille étalon d'isobutylène de 100 ppm en début d'expérience et vérifiés après l'expérience. La fréquence d'échantillonnage est de trois secondes pour le MultiPID et d'une seconde pour le MiniRAE. Les deux détecteurs PID ont été utilisés en double pour certaines expériences. On exploitera seulement les résultats obtenus avec le MultiPID.



Photo 3. Détecteurs PID

7.4. Contrôles de la solution de mouillage et des imprimés

Pour chaque expérience, les commentaires des conducteurs de machines relatifs à l'utilisation des différents produits ont été notifiés et différents paramètres ont été contrôlés :

- le pH, la conductivité, la température, le pourcentage d'alcool isopropylique de la solution de mouillage ;
- la densité d'encre déposée sur les feuilles imprimées (aplats) et le taux d'engraissement ou l'élargissement du point de trame des barres de contrôle au moyen d'un densitomètre ;
- le nombre de feuilles imprimées ;
- la vitesse de rotation des rouleaux servant à amener la solution de mouillage sur la plaque d'impression.

De plus, des mesures complémentaires ont été réalisées sur les deux types de papier, les blanchets et les supports imprimés pour vérifier la qualité d'impression (cf. annexes 1, 2 et 3). Des exemples de feuilles imprimées acceptables et non acceptables sont donnés en annexe 2.

7.5. Mesures du débit d'émission

Des COV sont émis lors du procédé d'impression offset feuilles. La méthode de mesurage envisagée pour évaluer les débits d'émission de polluants de la machine est la méthode en cabine. Le principe de cette méthode consiste à placer la machine testée dans une cabine ouverte (cf. figure 4) balayée par un courant d'air uniforme et à mesurer les concentrations et les débits dans le conduit d'extraction en aval. Cette méthode repose sur l'hypothèse que la totalité des polluants émis est collectée.

Le débit d'émission q traversant la section de mesure du conduit d'aspiration est calculé suivant la formule suivante :

$$q = \frac{Q}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_3} C(t) dt$$

avec Q : débit d'air traversant le conduit,
 t_1 : début du prélèvement,
 t_2 : fin de la génération,
 t_3 : fin du prélèvement,
 C : concentration moyenne dans le conduit.

Cette méthode est normalisée (NF EN 1093-3) [8]. Elle est appliquée en tenant compte des améliorations apportées dans le cadre d'une étude post-normative réalisée par six laboratoires et financée par l'Union Européenne.

7.6. Gestion des déchets

A l'heure actuelle, les problèmes liés à l'environnement occupent une place de plus en plus importante dans la vie des entreprises. Le secteur de l'imprimerie offset feuilles ne fait pas exception à la règle et se trouve de plus en plus souvent confronté à ce genre de problématique. En effet, la réalisation d'imprimés fait largement appel à des produits présentant des risques importants de pollution des sols, des eaux et de l'air. Ces sources de pollution nécessitent chacune une réponse spécifique et une attention particulière tout au long du procédé d'impression. C'est pourquoi, en collaboration avec notre service Hygiène et Sécurité des Conditions de Travail, l'organisation du stockage des produits chimiques ainsi que la gestion des déchets ont été pris en compte durant toute la période des expérimentations.

Tous les produits chimiques ont été stockés sur des bacs de rétention. Les déchets liquides (solvants usagés, encres, solutions de mouillages) et solides (chiffons de nettoyage usagés, rouleaux de tissu imprégnés de solvant) ont été envoyés dans un centre de traitement spécifique.

Une partie des feuilles de papier imprimées a été donnée à des écoles maternelles et des crèches. L'autre partie, stockée dans des conteneurs fermés et adaptés, a été recyclée.

8. Résultats

8.1. Conditions atmosphériques

Les températures, les humidités relatives et les pressions ont été mesurées, pour chaque expérience, dans la cabine et dans le hall au moyen de deux baro-thermo hygromètres. Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants.

Exp.	Conditions atmosphériques cabine						Conditions atmosphériques hall					
	T _c (°C)	Ecart type (T _c)	H _c (%)	Ecart type (H _c)	P _c (hPa)	Ecart type (P _c)	T _h (°C)	Ecart type (T _h)	H _h (%)	Ecart type (H _h)	P _h (hPa)	Ecart type (P _h)
1	24,7	2,3	45,3	4,5	981,7	0,2	25,1	2,7	50,3	6,2	976,1	0,1
2	23,7	1,5	47,0	2,6	981,7	0,3	22,9	1,3	55,3	3,2	976,0	0,0
3	25,7	0,6	38,7	1,5	981,6	0,4	26,6	0,5	43,0	1,5	975,7	0,2
4	26,5	0,7	33,5	0,7	980,0	0,4	27,4	0,0	36,3	1,1	974,4	0,4
5	25,0	0,0	30,0	0,0	978,6	0,3	24,5	0,5	36,0	1,8	973,1	0,2
6	24,7	0,6	36,3	0,6	978,6	0,5	25,2	0,4	41,3	0,5	973,7	0,2
7	25,0	0,0	33,7	0,6	977,9	0,2	25,9	1,1	37,8	2,2	972,9	0,3
8	23,0	0,0	36,0	0,0	976,2	0,2	23,3	0,0	42,8	0,5	972,3	0,2
9	23,0	0,0	41,0	0,0	975,6	0,1	23,4	0,0	46,8	0,5	971,8	0,0
10	23,5	0,7	43,0	0,0	975,3	0,3	23,7	0,5	48,0	0,7	971,4	0,6
11	24,0	0,0	42,7	0,6	975,3	0,1	23,9	0,1	48,5	0,0	971,4	0,0
12	23,3	0,6	41,0	3,5	975,9	0,3	24,2	0,4	46,0	2,8	972,1	0,4
13	23,5	0,7	40,0	1,4	976,2	0,1	25,7	0,2	42,0	0,0	972,2	0,3
14	23,0	0,0	45,0	1,4	973,6	0,2	23,1	0,1	52,5	0,1	973,3	0,0
15	22,5	0,7	28,0	0,0	982,7	0,2	22,2	0,1	33,1	0,2	979,9	0,0
16	23,0	0,0	31,0	0,0	983,3	0,3	22,2	0,2	36,2	0,2	981,3	0,0
17	22,7	0,6	32,3	1,5	981,6	0,1	22,9	0,8	37,1	1,9	981,5	0,3
18	23,0	0,0	33,0	0,0	979,9	0,4	23,3	0,5	36,8	1,4	981,5	0,8
19	23,3	0,6	35,3	0,6	978,3	0,2	23,3	0,1	41,7	0,7	979,9	0,0
20	22,7	0,6	32,0	3,0	977,4	0,1	22,6	0,1	38,6	3,2	978,6	0,0
21	23,0	0,0	32,0	0,0	979,6	0,3	22,7	0,4	37,9	0,9	982,2	6,2
22	23,0	0,0	25,0	0,0	981,1	0,2	22,2	0,2	28,7	0,3	979,9	0,0
23	22,7	0,6	26,0	1,0	980,0	0,1	22,1	0,2	30,0	0,9	980,0	0,0
24	22,7	0,6	25,3	0,6	979,6	0,1	21,8	0,1	29,9	0,9	980,0	0,0
25	22,7	0,6	23,0	0,0	972,9	0,2	22,1	0,1	26,1	0,4	971,9	0,0
26	23,7	0,6	22,7	1,5	971,9	0,1	23,3	0,3	25,8	0,4	971,9	0,0
27	24,0	-	22,0	-	970,6	-	23,5	0,3	23,4	2,8	970,6	0,0
28	24,3	0,6	23,0	1,0	969,3	0,0	23,4	0,2	26,6	0,7	970,2	0,8
29	24,3	0,6	24,0	1,0	963,2	0,2	23,8	0,3	30,1	0,9	963,9	0,0
30	24,3	0,6	25,0	1,0	962,0	0,1	23,9	0,3	28,7	0,9	962,6	0,0

Tableau 7. Conditions atmosphériques dans la cabine et dans le hall

Exp.	Conditions atmosphériques cabine						Conditions atmosphériques hall					
	T _c (°C)	Ecart type (T _c)	H _c (%)	Ecart type (H _c)	P _c (hPa)	Ecart type (P _c)	T _h (°C)	Ecart type (T _h)	H _h (%)	Ecart type (H _h)	P _h (hPa)	Ecart type (P _h)
31	24,0	0,0	23,0	0,0	962,6	0,7	23,5	0,1	27,7	0,3	962,6	0,0
32	24,0	0,0	21,0	1,0	971,8	0,1	23,3	0,2	25,5	0,4	970,2	0,8
33	23,7	0,6	21,7	2,1	972,3	0,1	23,8	0,3	24,0	0,1	971,9	0,0
34	24,0	0,0	20,3	0,6	972,9	0,3	23,8	0,4	23,8	0,9	971,9	0,0
35	23,7	0,6	21,0	2,6	973,8	0,1	23,4	0,1	23,6	1,2	972,4	0,8
36	24,0	0,0	18,0	0,0	978,0	0,3	23,7	0,4	20,9	0,8	975,9	0,0
37	24,0	0,0	16,7	0,6	988,2	0,1	23,7	0,2	20,4	0,8	983,9	0,0
38	24,0	0,0	20,0	0,0	987,0	0,1	23,9	0,3	23,2	0,8	985,3	0,0
39	21,0	0,0	25,7	1,2	986,8	0,1	20,5	0,3	31,3	1,0	985,3	0,0
40	21,0	0,0	18,0	0,0	990,2	0,1	21,0	1,2	21,6	0,8	986,6	0,0
41	21,0	0,0	19,7	0,6	989,8	0,1	20,6	0,3	24,0	1,2	986,6	0,0
42	20,7	0,6	19,3	1,5	990,3	0,2	20,7	0,1	23,4	1,2	986,6	0,0
43	21,0	0,0	20,0	0,0	988,5	0,2	20,6	0,2	24,1	0,3	986,6	0,0
44	21,0	0,0	22,3	0,6	986,5	0,0	20,7	0,1	27,2	0,1	983,9	0,0
45	20,7	0,6	18,7	0,6	978,8	0,1	20,5	0,1	23,4	1,0	977,3	0,0
46	21,0	0,0	23,7	0,6	974,0	0,3	20,5	0,2	28,3	0,4	973,3	0,0
47	21,0	0,0	24,7	0,6	971,9	0,6	20,3	0,2	30,4	0,5	971,9	0,0
48	21,0	0,0	22,0	1,0	969,6	0,3	20,0	0,0	27,6	0,8	969,3	0,0
49	21,0	0,0	18,7	0,6	953,7	0,2	20,9	0,3	23,1	0,8	953,3	0,0
50	20,7	0,6	22,0	0,0	959,4	0,0	20,0	0,3	27,5	0,5	957,3	0,0
51	21,0	0,0	21,0	0,0	963,1	0,3	20,4	0,3	26,5	0,6	961,3	0,0
52	20,7	0,6	25,3	0,6	964,0	0,1	20,9	0,1	33,0	0,0	958,7	0,2
53	21,0	0,0	25,7	0,6	964,7	0,2	20,7	0,3	32,8	0,3	959,7	0,0
54	21,0	0,0	26,7	0,6	966,1	0,3	20,7	0,0	34,3	0,3	961,1	0,2
55	21,0	0,0	26,3	1,2	974,6	0,1	20,8	0,2	33,5	0,6	969,7	0,4
56	22,0	0,0	23,0	0,0	992,9	0,3	21,9	0,1	29,5	0,3	987,5	0,3
57	21,3	0,6	15,3	0,6	988,9	0,2	21,8	0,1	22,3	0,8	983,2	0,2
58	21,0	-	18,0	-	991,3	-	21,7	-	25,0	-	985,8	-
59	21,0	0,0	20,0	1,0	990,1	0,1	21,8	0,2	26,5	1,2	984,3	0,2
60	21,7	0,6	22,0	1,0	990,7	0,1	21,8	0,1	28,5	0,6	984,6	0,0
61	21,7	0,6	23,0	0,0	989,9	0,0	21,9	0,1	29,5	0,5	983,9	0,0

Tableau 8. Conditions atmosphériques dans la cabine et dans le hall

Dans la cabine, la température, l'humidité et la pression varient de 20,7 à 26,5 °C, de 15,3 à 47,0 %, de 953,7 à 992,9 hPa et dans le hall respectivement de 20,0 à 27°C, de 20,4 à 55,3 % et de 953,3 à 987,5 hPa.

Les valeurs moyennes sont données tableau 9.

	Cabine	Hall
Température (°C)	22,7 ± 3,0	22,6 ± 3,4
Humidité (%)	27,1 ± 16,4	32,1 ± 17,4
Pression (hPa)	977,4 ± 18,0	975,0 ± 16,8

Tableau 9. Températures, humidités et pressions moyennes dans la cabine et dans le hall

8.2. Mesures du débit d'air et réglage de la machine à imprimer

La machine à imprimer deux couleurs Speedmaster SM 52 a été installée dans la cabine ouverte balayée par un débit d'air de $5\,785\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, soit une vitesse de $0,22\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à l'entrée de la cabine. Avant de commencer toutes les expériences, la machine a été réglée au préalable par les conducteurs de machine suivant les normes standards du constructeur.

8.3. Analyses qualitatives

Les analyses qualitatives ont été réalisées sur tous les produits purs testés. Elles ont révélé la présence :

➤ Dans les encres :

Composants	Molécules	Provenance
Résine phormophénolique	triméthylbenzène méthyl éthylbenzène alcool xylène	impuretés
Esters d'acide gras	pentanal hexanal ester méthylique	oxydation des esters
Additifs	acide dodécanoïque éthyl-2 hexanoïque benzoquinone oxime siloxane	siccatif antisiccatif sous produit de la cire
Hydrocarbures	aliphatique	distillat pétrolier

Tableau 10. Composition des encres

- Dans les solvants de nettoyage : d'alcanes, de sous-produits détergents, d'alcools, d'hydrocarbures aliphatiques et aromatiques et de tensio-actifs.
- Dans les solutions de mouillage :

Composants	Molécules
Alcool/glycol	Butyldiglycol Methanol, ethanol,... Méthylisobutylcétone Acetate n-propyl
Tensio-actifs	Silane Formate Formiate Surfinol Erytritol Pinacoline Méthylène Propylène
Anti-corrosif	Cyclohexanone Acide benzoïque Cétone Hexanal Traces de produits oxydés

Tableau 11. Composition des solutions de mouillage

Lors des expériences, les prélèvements d'échantillons gazeux ont révélé la présence de :

- alcool isopropylique
- nonane
- n-propylbenzène
- 1,3,5 triméthylbenzène
- 2-éthyltoluène
- 1,2,4 triméthylbenzène
- 1,2,3 triméthylbenzène

et exceptionnellement de :

- éthanol
- acétone
- toluène
- éthylbenzène
- m,o-xylène

8.4. Contrôle de la solution de mouillage

Les mesures de température, pH, conductivité et pourcentage d'alcool isopropylique des solutions de mouillage sont données dans les tableaux suivants.

Exp.	Solution mouillage							
	T (°C)	Ecart type (T)	pH	Ecart type (pH)	Conductivité ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Ecart type (Cond.)	% IPA	Ecart type (%IPA)
1	10,0	0,8	5,22	0,01	633	17	11,3	0,4
2	9,8	0,4	5,22	0,01	640	4	12,2	0,3
3	9,9	0,8	5,20	0,00	652	11	11,8	0,6
4	10,1	0,1	5,20	0,01	644	8	12,5	0,0
5	10,1	0,9	5,21	0,02	626	4	12,7	0,3
6	9,7	0,3	5,26	0,01	630	8	13,2	0,6
7	9,5	0,8	5,23	0,00	662	8	11,2	0,3
8	9,5	0,5	5,11	0,01	733	12	11,3	0,3
9	10,2	0,7	5,12	0,01	739	9	11,2	0,3
10	9,4	0,5	5,13	0,00	727	2	10,5	0,5
11	9,9	0,4	5,12	0,01	741	10	10,5	0,0
12	10,0	0,1	5,14	0,01	730	24	12,0	0,0
13	10,0	0,2	5,13	0,01	725	6	10,8	0,8
14	9,7	0,6	5,14	0,00	719	23	10,0	0,0
15	9,7	1,0	5,14	0,01	734	33	11,0	1,4
16	10,6	0,1	5,13	0,01	738	14	11,0	0,0
17	10,0	0,1	4,99	0,00	979	7	5,7	0,3
18	10,2	0,9	5,09	0,01	686	5	11,2	0,3
19	9,5	0,5	5,09	0,01	683	5	11,5	0,5
20	10,2	0,7	5,08	0,01	676	2	10,8	0,3
21	10,0	0,6	5,17	0,02	-	-	14,8	0,3
22	9,6	1,0	5,13	0,02	685	8	11,0	0,0
23	9,1	0,2	5,13	0,02	677	10	10,7	0,3
24	9,7	0,4	5,13	0,01	690	14	10,8	0,6
25	9,8	0,7	5,13	0,00	675	11	11,5	0,5
26	10,4	0,4	5,15	0,01	664	9	12,0	1,0
27	9,9	0,8	5,14	0,01	673	18	10,2	0,3
28	9,8	1,0	5,15	0,01	673	4	11,7	0,3
29	9,9	0,9	5,15	0,01	722	2	11,0	0,5
30	10,5	0,0	5,16	0,01	754	3	10,7	0,3

Tableau 12. Températures, pH, conductivités et pourcentages d'alcool isopropylique (IPA) pour chaque expérience

Exp.	Solution mouillage							
	T (°C)	Ecart type (T)	pH	Ecart type (pH)	Conductivité ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Ecart type (Cond.)	% IPA	Ecart type (%IPA)
31	10,0	1,0	5,17	0,02	738	31	10,7	1,0
32	9,4	0,4	5,16	0,02	752	2	10,2	1,3
33	10,1	0,5	5,14	0,01	794	10	10,2	0,3
34	9,5	0,8	5,14	0,01	825	9	10,0	0,5
35	9,6	0,8	5,12	0,00	858	16	9,3	0,6
36	9,7	0,3	5,15	0,02	834	6	10,0	0,0
37	9,9	0,7	5,19	0,01	759	3	11,5	0,9
38	9,4	0,9	5,17	0,01	799	16	10,2	0,3
39	10,0	0,2	5,16	0,01	816	6	10,0	0,5
40	10,0	1,0	5,19	0,01	833	11	9,7	0,3
41	10,3	0,5	5,82	0,02	445	8	0,0	0,0
42	9,8	0,3	4,97	0,03	867	125	10,2	0,6
43	10,2	0,6	4,95	0,00	986	8	10,5	0,5
44	9,4	0,5	4,87	0,01	1406	7	3,0	0,0
45	10,0	0,8	4,79	0,01	1425	17	10,0	0,0
46	9,6	0,8	5,05	0,01	780	8	9,2	0,3
47	9,5	0,8	5,05	0,00	764	8	9,7	0,3
48	8,8	0,4	5,04	0,01	777	6	10,0	0,0
49	10,2	0,3	5,06	0,00	785	7	10,0	0,0
50	9,2	0,3	4,68	0,02	1399	8	5,0	0,0
51	9,8	0,9	4,94	0,03	1442	10	2,5	0,0
52	9,4	0,9	4,66	0,03	1557	9	6,0	0,0
53	9,9	0,5	5,11	0,03	724	7	10,5	0,0
54	9,3	0,1	5,09	0,01	734		10,7	0,3
55	9,6	0,5	5,09	0,01	747	6	9,7	0,6
56	10,7	0,1	5,39	0,01	369	3	19,8	0,3
57	9,6	0,5	5,36	0,02	384	5	19,7	0,3
58	-	-	-	-	-	-	-	-
59	9,8	0,6	5,13	0,00	674	8	10,8	0,3
60	10,5	0,5	5,15	0,01	669	7	11,7	0,6
61	10,2	1,1	4,95	0,01	1317	79	3,5	0,0

Tableau 13. Températures, pH, conductivités et pourcentage d'alcool isopropylique (IPA) pour chaque expérience

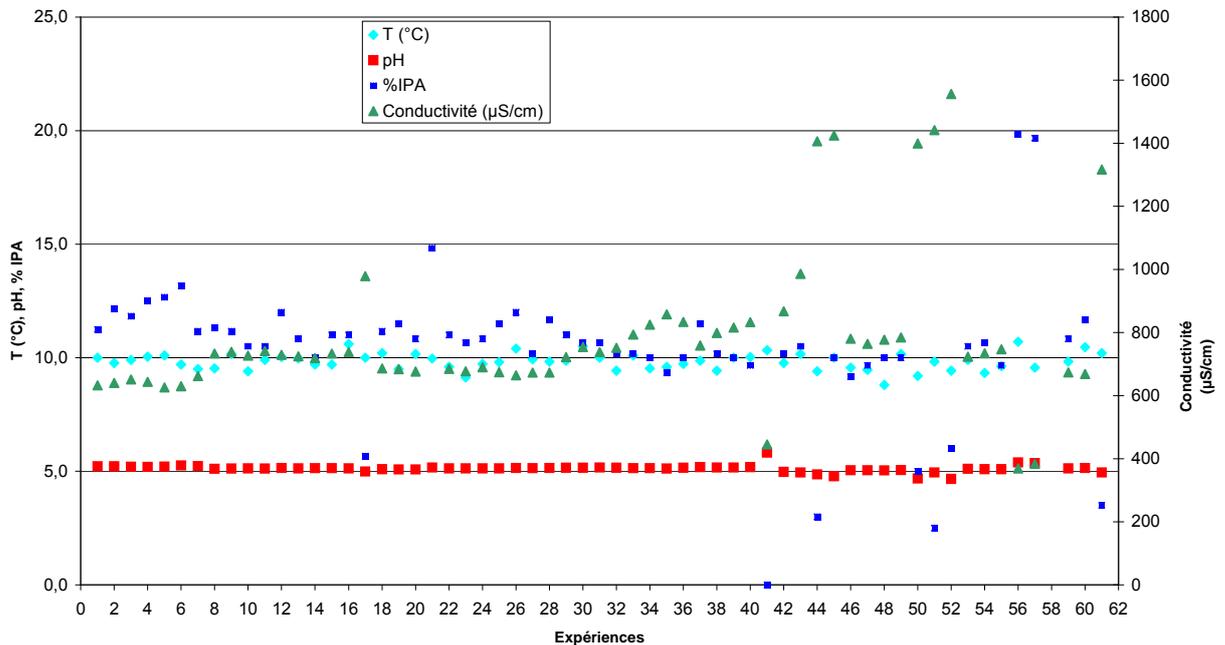


Figure 7. Evolution de la température, du pH, du pourcentage d'alcool isopropylique et de la conductivité de la solution de mouillage pour chaque expérience

La température moyenne et le pH moyen pour l'ensemble des expériences est de 9,8 °C et 5,1.

La température et le pH sont relativement constants pour toutes les expériences (cf. figure 7). En effet, l'optimisation des caractéristiques de la solution de mouillage permet de réduire la consommation et la gâche d'encre et de papier ainsi que les temps d'arrêts machine. La solution de mouillage joue aussi un rôle essentiel dans l'obtention de contraste d'impression et dans l'obtention du brillant, ce qui conduit à des impressions de grande qualité. Ainsi, pour l'imprimeur, la recherche et la maîtrise de la solution de mouillage la mieux adaptée à son procédé d'impression se justifie par un double enjeu qualitatif et économique.

8.5. Mesures des concentrations de COV

Pour toutes les expériences, les concentrations en COV ont été déterminées par chromatographie en phase gazeuse et sont données dans les tableaux ci-après pour chaque paramètre d'influence étudié. Les résultats des mesures de concentrations par expérience et les limites de détection sont donnés en annexe 4.

Etant donné que les **deux principales sources de pollution** proviennent essentiellement de la **phase d'impression** (émissions d'alcool isopropylique) et de la **phase de nettoyage** (émissions d'hydrocarbures aliphatiques et aromatiques), il a donc été nécessaire de différencier la **concentration en alcool isopropylique** de celle **des COV totaux** (somme des COV échantillonnés sur les tubes de charbon actif et dont l'élution se produit entre le C6 et le C13). Ces composés sont quantifiés en équivalent carbone.

Exp.	Concentration en mg.m ⁻³													mg.m ⁻³	Paramètres
	IPA	éthanol	acétone	toluène	éthylbenzène	m-xylène	o-xylène	nonane	n-propylbenzène	1,3,5 TMBZ	2-éthyltoluène	1,2,4 TMBZ	1,2,3, TMBZ	COV _{total}	
1	27,48	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,41	0,23	0,32	0,34	0,99	0,23	6,51	
2	28,96	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,54	0,31	0,46	0,46	1,34	0,32	9,51	
3	30,58	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,52	0,29	0,42	0,41	1,09	0,29	8,82	Référence conducteur A
4	35,38	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,39	0,32	0,49	0,44	1,18	0,32	8,82	
60	19,34	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,32	0,24	0,46	0,31	0,85	0,25	4,21	
moy.	28,35	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,44	0,28	0,43	0,39	1,09	0,28	7,58	Référence A
22	26,96	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,31	0,27	0,54	0,42	0,80	0,17	4,45	
23	27,64	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,34	0,27	0,57	0,48	1,01	0,22	5,67	Référence conducteur B
24	28,47	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,43	0,39	0,85	0,72	1,44	0,34	8,61	
moy.	27,85	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,36	0,31	0,65	0,54	1,08	0,24	6,24	Référence B
19	14,29	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,21	0,16	0,37	0,28	0,74	0,21	3,66	1 groupe Encre Noire 1 (EN1)
20	15,03	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,21	0,16	0,40	0,29	0,78	0,24	4,05	1 groupe Encre Jaune 1 (EJ1)
27	17,77	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,21	0,24	0,36	0,31	0,91	0,27	5,23	encre indienne
5	33,86	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,40	0,37	0,56	0,49	1,42	0,37	9,53	+1 (densité d'encre)
28	34,93	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,33	0,30	0,46	0,37	1,09	0,28	6,22	+1
6	34,93	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,36	0,33	0,45	0,39	1,07	0,27	6,94	+1
25	29,79	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,40	0,36	0,52	0,42	1,17	0,29	7,04	EN2-EJ2
26	34,19	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,36	0,34	0,51	0,43	1,28	0,32	7,20	EN3-EJ3
27	17,77	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,21	0,24	0,36	0,31	0,91	0,27	5,23	1 groupe EJ5
53	14,00	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,35	0,27	0,48	0,36	1,09	0,28	5,66	EN4-EJ4
17	10,11	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,43	0,33	0,68	0,50	1,36	0,37	8,31	5 % IPA
21	37,38	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,29	0,21	0,42	0,33	0,82	0,22	4,89	15 % IPA
56	36,94	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,34	0,28	0,52	0,38	1,06	0,29	6,29	20 % IPA
57	30,52	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,30	0,25	0,45	0,31	0,88	0,24	4,28	20 % IPA
41	1,27	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,34	0,31	0,42	0,36	0,99	0,25	5,85	eau osmosée reminéralisée
42	18,93	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,52	0,29	0,49	0,43	1,25	0,29	6,53	Additif 2 (A2)
43	6,17	4,30	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,30	0,23	0,37	0,32	0,93	0,21	3,89	A3-Réducteur d'Alcool 1(A3-RA1)
44	2,16	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,35	0,22	0,38	0,31	0,90	0,22	5,58	A3-RA2
45	0,53	<LD	1,13	<LD	<LD	<LD	<LD	0,34	0,21	0,35	0,29	0,84	0,20	3,83	A3-RA3
50	0,17	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,27	0,22	0,37	0,29	0,88	0,21	5,00	Substitut d'Alcool 2 (SA2 - cond B)
52	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,38	0,33	0,62	0,49	1,37	0,35	9,06	SA2 - conducteur A
51	0,48	<LD	0,88	<LD	<LD	<LD	<LD	0,24	0,22	0,40	0,28	0,78	0,22	4,63	SA1 - conducteur B
61	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,29	0,26	0,51	0,33	0,91	0,32	3,97	SA3 - conducteur A
18	21,84	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,32	0,26	0,50	0,41	1,14	0,33	7,31	A - travail normal
39	27,65	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,67	0,46	0,64	0,58	1,54	0,35	10,46	B - travail mal
40	23,14	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,31	0,26	0,35	0,31	0,84	0,20	4,92	B - travail bien
8	36,23	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,00	impression seule
29	28,73	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,33	0,32	0,46	0,37	1,02	0,27	6,76	papier ouvert
49	15,85	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,30	0,26	0,46	0,34	1,01	0,25	5,95	nouveau blanchet

Tableau 14. Résultats des prélèvements de composés organiques des expériences de référence et par facteur d'influence - Première configuration

Exp.	Concentration en mg.m ⁻³													mg.m ⁻³ eqC	Paramètres
	IPA	éthanol	acétone	toluène	éthylbenzène	m-xylène	o-xylène	nonane	n-propylbenzène	1,3,5 TMBZ	2-éthyltoluène	1,2,4 TMBZ	1,2,3, TMBZ		
7	24,53	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,51	1,24	1,84	1,62	4,60	1,07	29,83	Lavage Automatique - Solvant1 (LA - S1)
9	21,39	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,17	0,19	0,34	0,31	0,84	0,27	11,68	LA - S2
10	21,93	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,87	<LD	<LD	<LD	0,24	<LD	24,20	LA - S3
11	22,09	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,58	<LD	<LD	0,34	0,17	<LD	17,26	LA - S4
12	15,73	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	6,18	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	39,10	LA - S5
13	16,88	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,75	<LD	<LD	<LD	0,21	<LD	19,51	LA - S6
14	15,89	<LD	<LD	<LD	0,08	0,28	0,26	0,60	0,80	1,55	1,53	4,85	1,58	25,40	LA - S7
15	17,82	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,08	0,07	0,21	0,20	0,57	0,21	2,25	LA - S8
16	15,37	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,13	<LD	0,33	LA - S9
59	9,06	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,10	<LD	0,16	0,18	0,38	<LD	5,99	LA - S10
54	8,42	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,98	0,88	1,58	1,21	3,51	0,73	23,67	LA - S1/eau
55	7,61	<LD	0,60	<LD	<LD	<LD	<LD	0,11	0,09	0,20	0,15	0,44	0,26	2,20	LA - S9/eau
30	16,50	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,81	0,71	1,11	0,95	2,74	0,69	17,85	Lavage Manuel - Solvant1(LM - S1)
31	18,26	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,08	0,15	0,25	0,22	0,63	0,24	7,90	LM - S2
32	16,16	<LD	<LD	0,03	<LD	<LD	<LD	1,09	<LD	<LD	<LD	0,29	<LD	14,96	LM - S3
33	15,15	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,21	<LD	0,08	0,17	0,23	<LD	7,06	LM - S4
34	13,86	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	4,77	<LD	<LD	0,83	0,22	<LD	30,42	LM - S5
35	12,77	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,40	<LD	<LD	0,15	0,14	<LD	6,97	LM - S6
36	16,27	<LD	<LD	0,01	<LD	0,15	0,17	0,33	0,51	0,92	0,89	2,98	0,98	14,65	LM - S7
37	17,44	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,04	0,13	<LD	<LD	0,88	LM - S8
38	15,65	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,02	<LD	0,04	0,13	<LD	<LD	0,74	LM - S9
46	11,69	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,27	0,22	0,39	0,28	0,86	0,19	4,15	LA blanchet
47	12,14	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,29	1,12	1,81	1,52	4,43	1,08	28,00	LA batterie encrage
48	12,33	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,38	0,33	0,60	0,45	1,41	0,36	7,77	LA cylindre de marge
58	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,11	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,78	fontaine à solvant

Tableau 15. Résultats des prélèvements de composés organiques en fonction de la nature des solvants de nettoyage et du mode de lavage - Deuxième configuration

Les résultats des expériences de références, pour la première configuration, montrent que les concentrations moyennes en alcool isopropylique et en COV totaux sont respectivement de 28 mg.m⁻³ et de 7 mg.m⁻³, et pour la seconde configuration de 16 mg.m⁻³ et 14 mg.m⁻³. Les concentrations en alcool isopropylique varient essentiellement dès que l'on modifie la composition de la solution de mouillage. En revanche, les concentrations de tous les autres composés varient en fonction du solvant de nettoyage utilisé.

Les résultats des mesures de concentrations des sources polluantes pouvant provenir des chiffons propres, des feuilles fraîchement imprimées, des deux blanchets testés sont donnés tableau 16.

Exp.	Concentrations en mg.m ⁻³													
	IPA	éthanol	acéto- ne	tolu- ène	éthylbz	m- xylène	o- xylène	nonane	n- propylb z	1,3,5 TMBZ	2-éthyl toluène	1,2,4 TMBZ	1,2,3, TMBZ	COVtotaux (mg.m ⁻³ eqC)
Chiffons	3,81	<LD	<LD	0,71	<LD	1,1419	<LD	0,62	1,82	2,03	2,22	7,39	2,59	84,1
Papier imprimé - exp. 40	12,70	<LD	<LD	0,02	<LD	<LD	<LD	0,08	0,06	0,09	0,08	0,25	0,07	1,8
Papier imprimé - exp. 43	3,70	1,65	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,09	0,07	0,11	0,11	0,27	0,11	3,3
Nouveau blanchet	0,05	<LD	0,95	14,68	0,02	0,01	<LD	0,01	<LD	<LD	<LD	0,02	<LD	14,7
Ancien blanchet	<LD	<LD	<LD	36,35	0,06	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	40,9

Tableau 16. Résultats des prélèvements de composés organiques pour les chiffons propres, une pile de papier imprimé, le blanchet traditionnel en caoutchouc (ancien blanchet) et le blanchet en polymère (nouveau blanchet)

Ces résultats (cf. tableau 16) montrent bien que les chiffons propres et le blanchet traditionnel sont des sources d'émission à prendre en compte pour réduire la pollution dans les ateliers.

De plus, les mesures d'émissions réalisées sur les piles de papier imprimé montrent, qu'effectivement, une partie de la solution de mouillage serait absorbée lors de l'impression. Les concentrations en IPA sont de 12,70 mg.m⁻³ lorsqu'on utilise une solution de mouillage contenant 10 % d'IPA et de 3,70 mg.m⁻³ lorsque la solution de mouillage contient un réducteur d'alcool.

8.6. Profils de concentration de COV (PID)

Deux profils de concentration pour chacune des deux configurations, déterminés à partir du PID, sont présentés figures 8 et 9. Les graphiques correspondant à chaque facteur d'influence sont présentés en annexe 5.

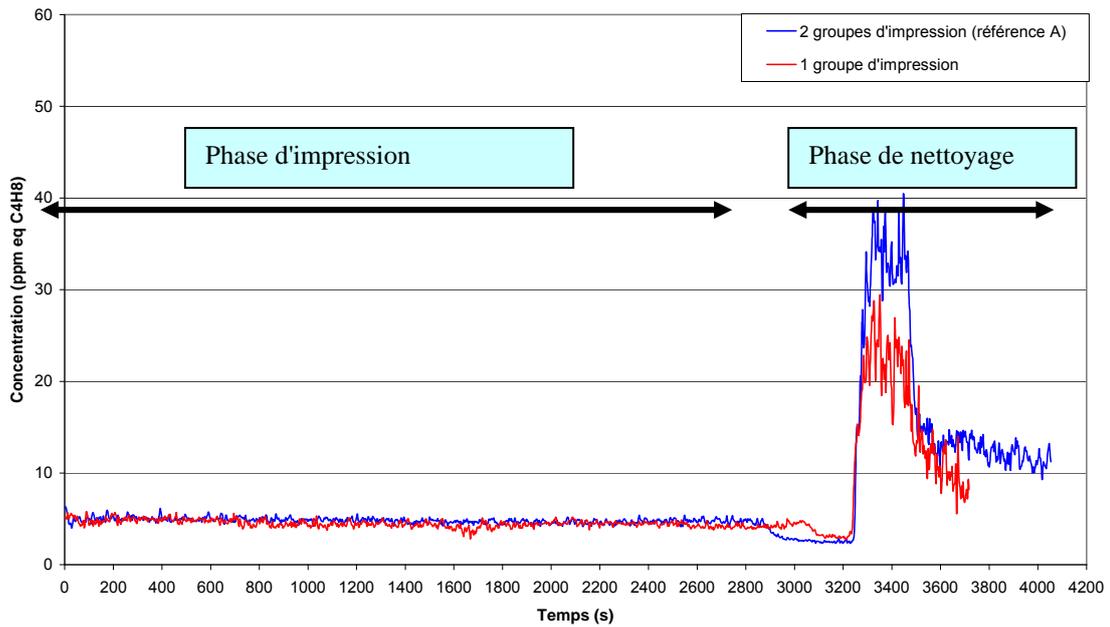


Figure 8. Profil de concentration correspondant à la première configuration

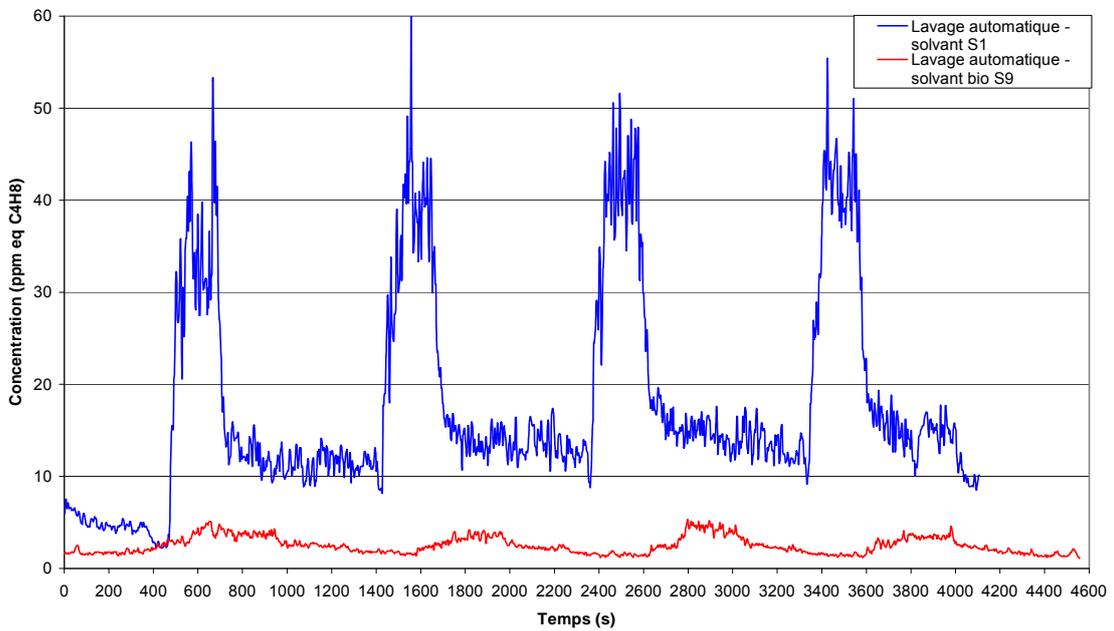


Figure 9. Profil de concentration correspondant à la seconde configuration (quatre cycles de lavage)

Le graphique de la figure 8 correspondant à la première configuration montre, d'une part, les deux phases bien distinctes du procédé offset feuilles et, d'autre part, l'influence du nombre de groupes d'impression. La concentration en COV reste stable (environ 5 ppm équivalent C_4H_8) pendant toute la phase d'impression (environ 50 minutes). Dès que le nettoyage des différentes parties de la machine est réalisé, la concentration augmente jusqu'à environ 40 ppm équivalent C_4H_8 pendant approximativement 10 minutes.

Le graphique de la figure 9 correspondant à la seconde configuration met en évidence les quatre cycles de nettoyage et permet de visualiser l'influence d'un solvant de nettoyage "bio" par rapport à l'expérience de référence. Les quatre cycles de nettoyage avec le solvant "bio" sont à peine discernables par rapport aux phases d'encrage et d'impression et la concentration moyenne est de quelques ppm équivalent C_4H_8 .

8.7. Débits d'émission

Les résultats des débits d'émission en alcool isopropylique et en COV totaux pour la première configuration sont présentés dans les graphiques suivants (cf. figures 10 à 17) et dans les tableaux en annexe 6.

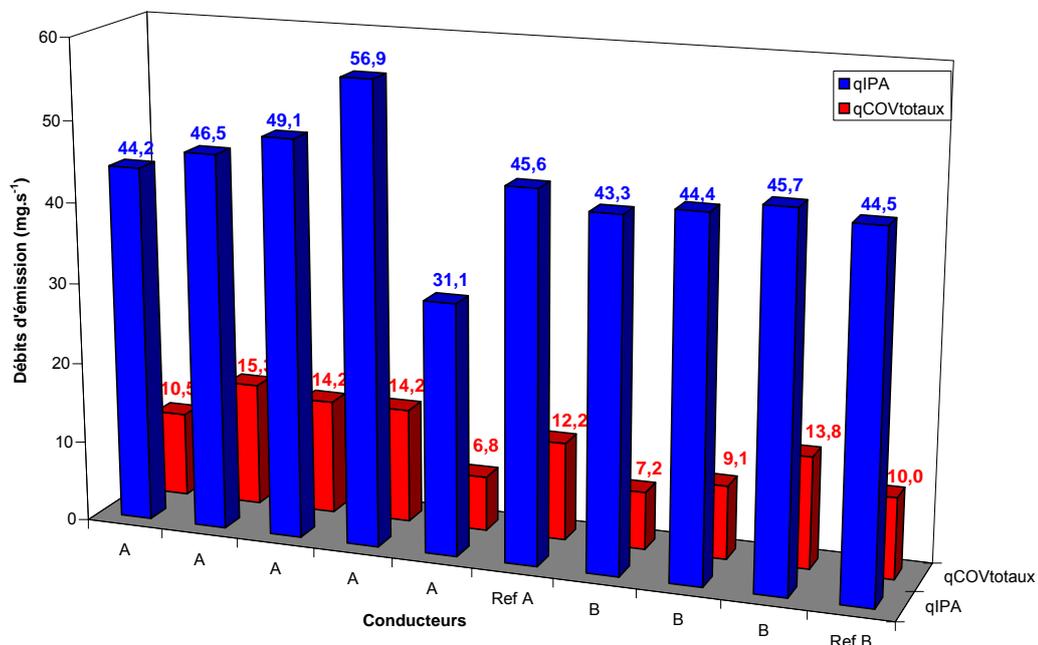


Figure 10. Débits d'émission en fonction du conducteur A et B

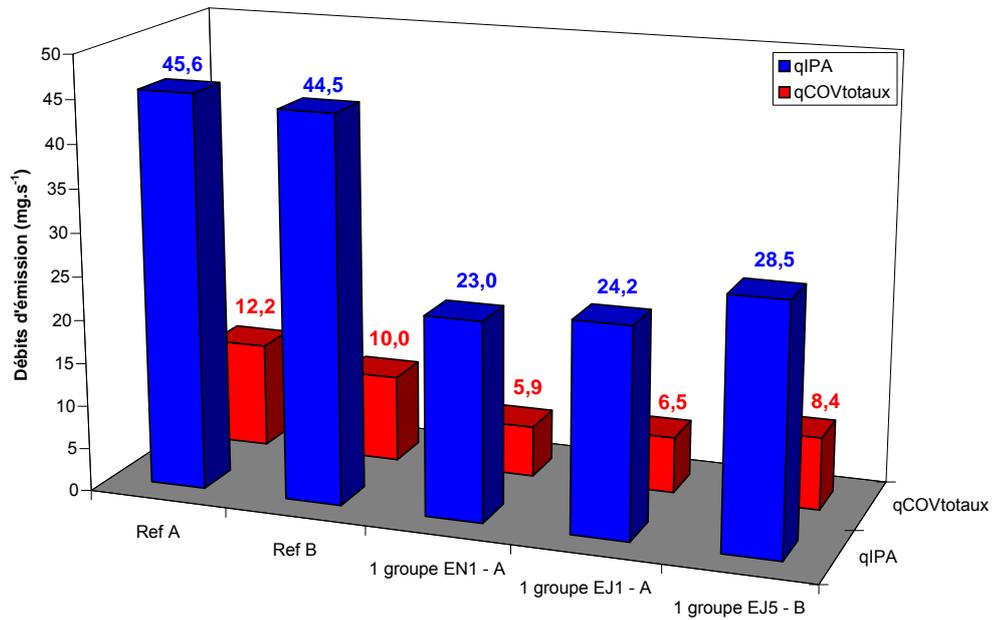


Figure 11. Débits d'émission en fonction du nombre de groupes d'impression

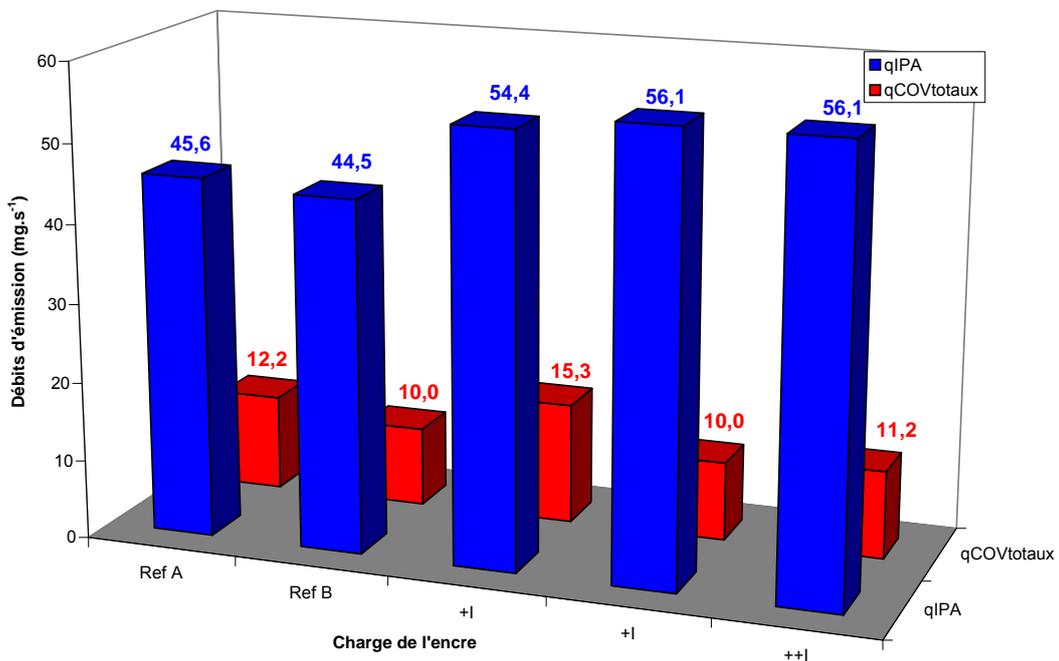


Figure 12. Débits d'émission en fonction de la charge d'encre déposée

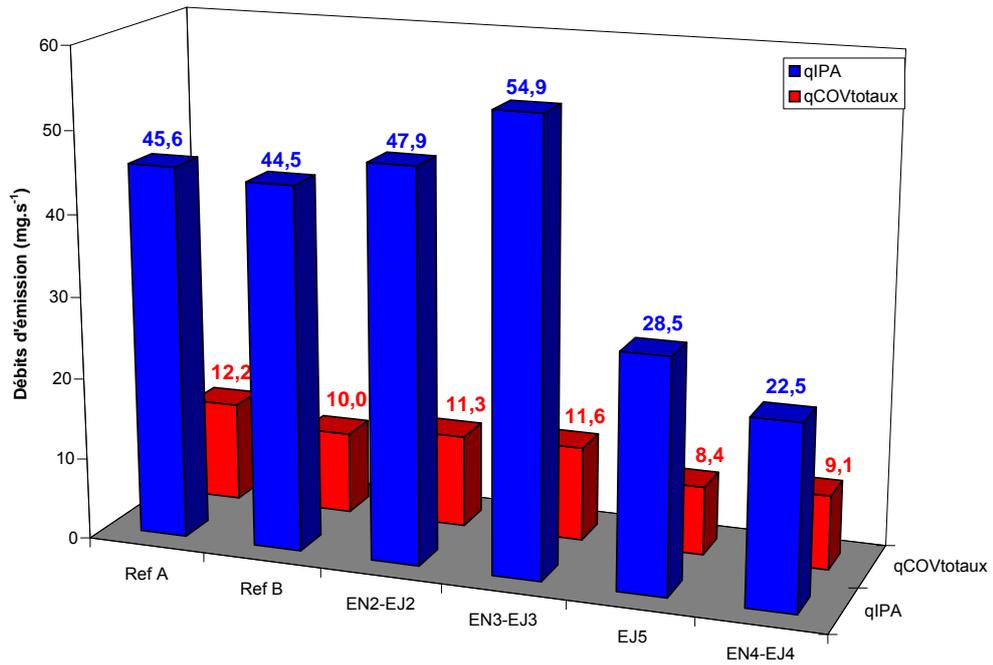


Figure 13. Débits d'émission pour différentes encres

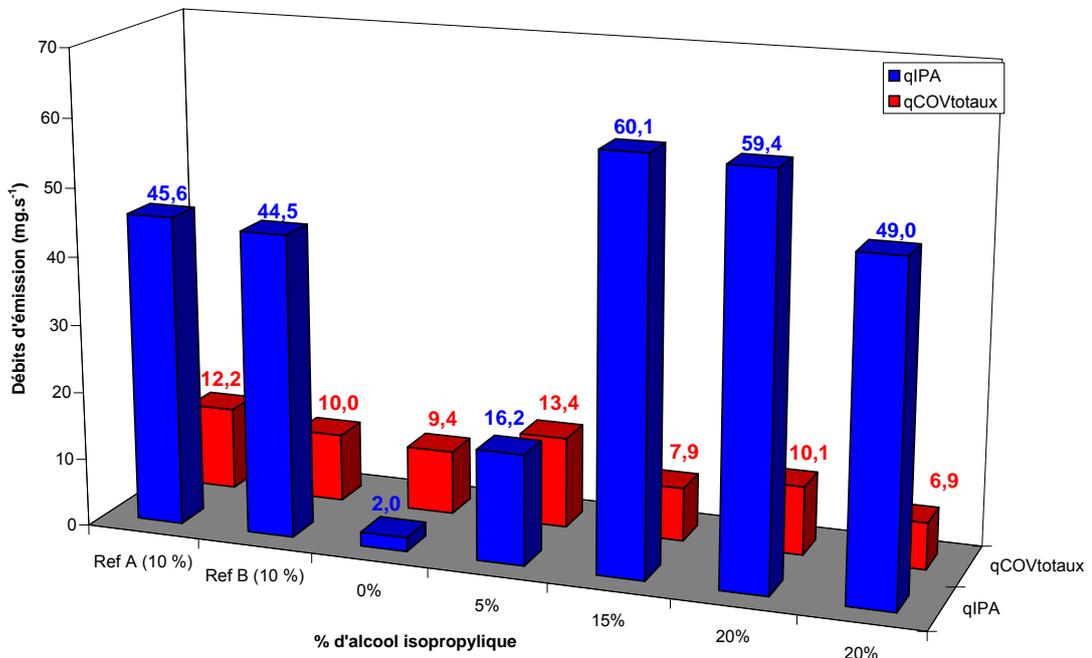


Figure 14. Débits d'émission en fonction du pourcentage d'alcool isopropylique

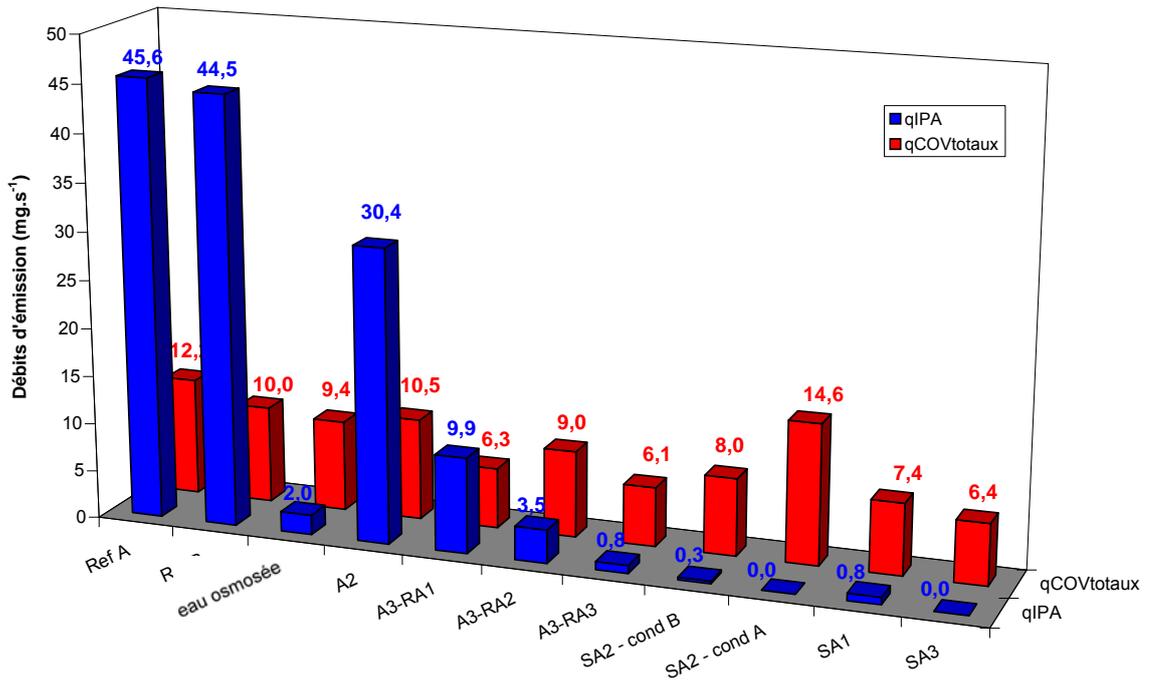


Figure 15. Débits d'émission pour différentes solutions de mouillage

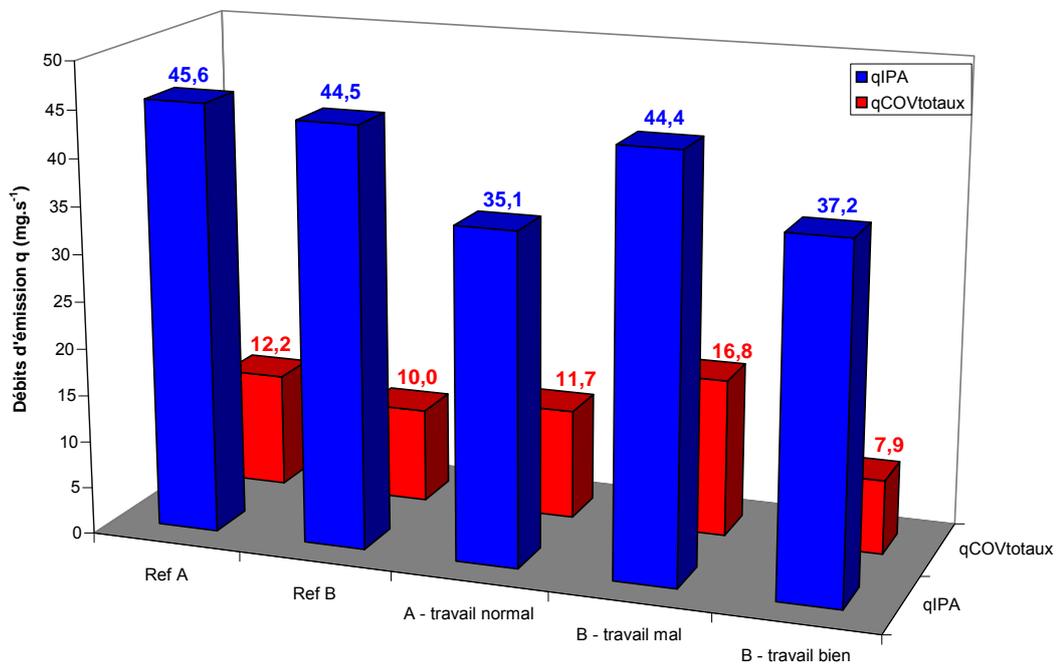


Figure 16. Débits d'émission avec et non respect des procédures

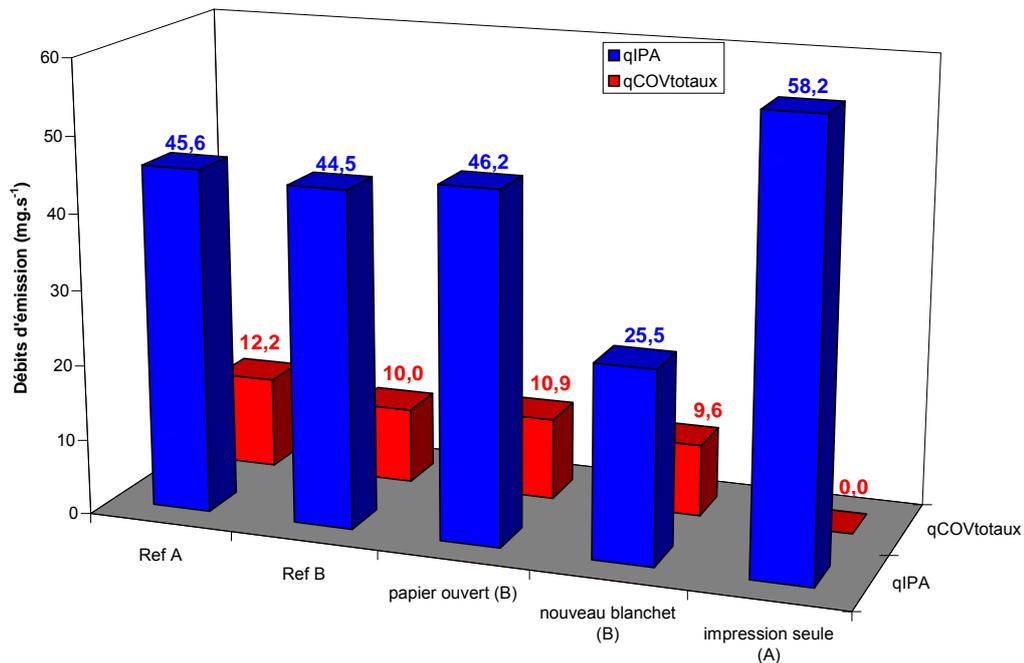


Figure 17. Débits d'émission en fonction de la nature du papier, du blanchet et de la phase d'impression

Les débits d'émission en alcool isopropylique et en COV totaux pour les expériences de référence sont en moyenne respectivement de 45 mg.s⁻¹ et de 11 mg.s⁻¹.

Ces résultats permettent de montrer :

- la faible influence du conducteur de machine quand celui-ci travaille selon les règles de l'art ;
- une certaine proportionnalité entre les débits d'émission et le nombre de groupes d'impression ;
- la très faible influence de la charge du job sur les débits d'émission ;
- une faible variation du débit d'émission en alcool isopropylique en fonction de la nature des encres ;
- une forte influence du pourcentage d'alcool isopropylique sur les débits d'émission jusqu'à 15 % d'IPA. Au-delà, le débit d'émission reste constant ;
- l'importance de la composition de la solution de mouillage surtout au niveau du débit d'émission en IPA. L'utilisation de réducteurs d'alcool et de substituts d'alcool permet de réduire considérablement les émissions de COV dans l'atmosphère. La solution de mouillage usée doit toujours être collectée en vue d'un traitement conforme en unité spécialisée ;

- l'influence de la manière de travailler. Le respect des procédures de travail et la bonne connaissance des phases polluantes permettent d'optimiser au mieux le procédé offset feuilles et de réduire les émissions de polluants tant au niveau de l'impression que du nettoyage de la machine ;
- le faible pouvoir émissif des encres ; le débit d'émission en COV est nul lors de la phase d'impression ;
- la faible influence de la nature du papier sur les débits d'émission ;
- l'importance de la nature du blanchet. Le nouveau blanchet pourrait permettre de réduire de moitié les émissions d'IPA.

Les résultats des débits d'émission pour la seconde configuration sont présentés figures 18 à 21.

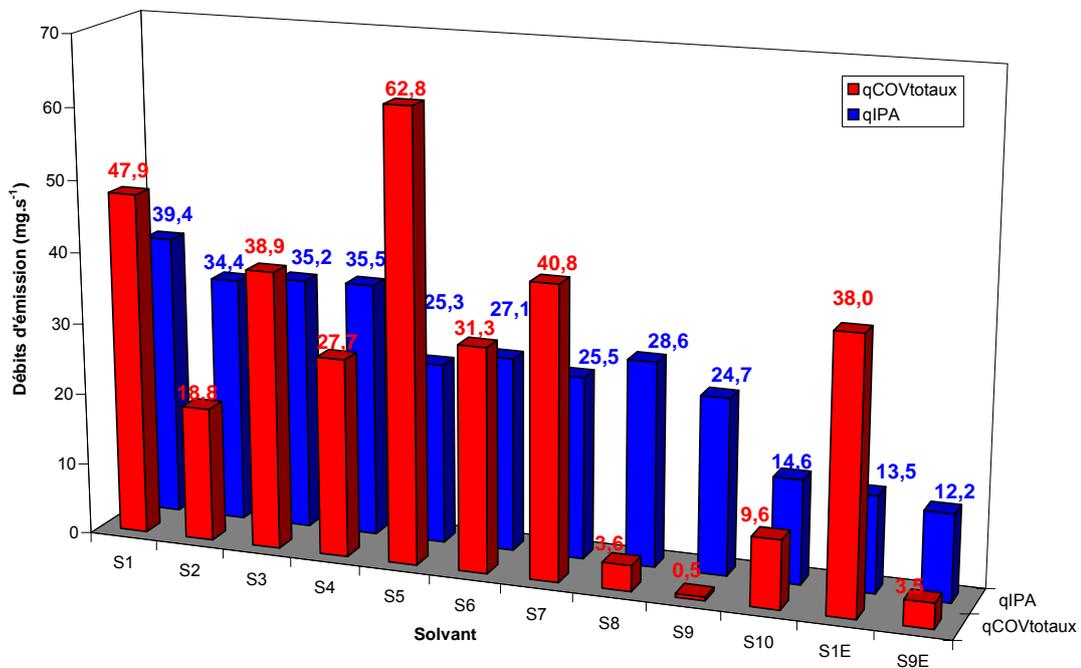


Figure 18. Débits d'émission pour différents solvants lors du lavage automatique

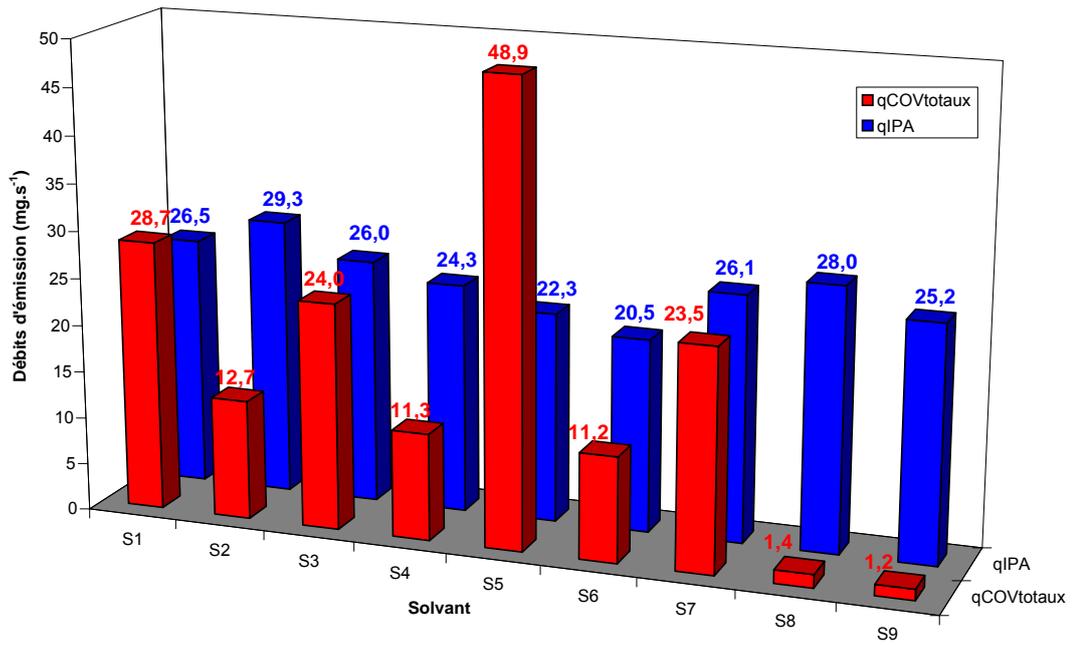


Figure 19. Débits d'émission pour différents solvants lors du lavage manuel

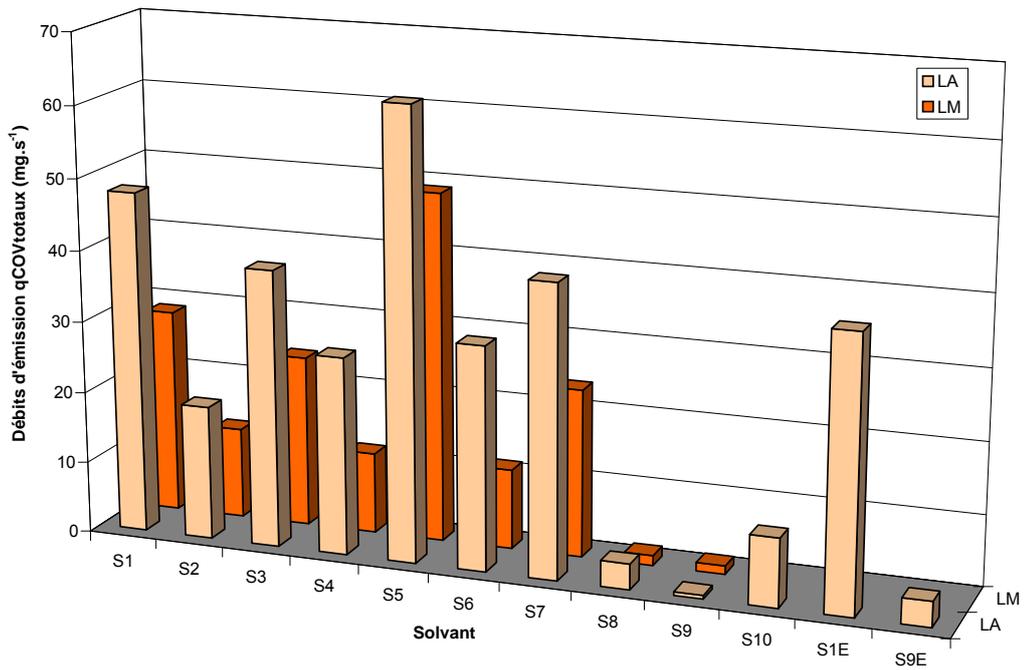


Figure 20. Débits d'émission en COV totaux pour différents solvants lors du lavage automatique et manuel

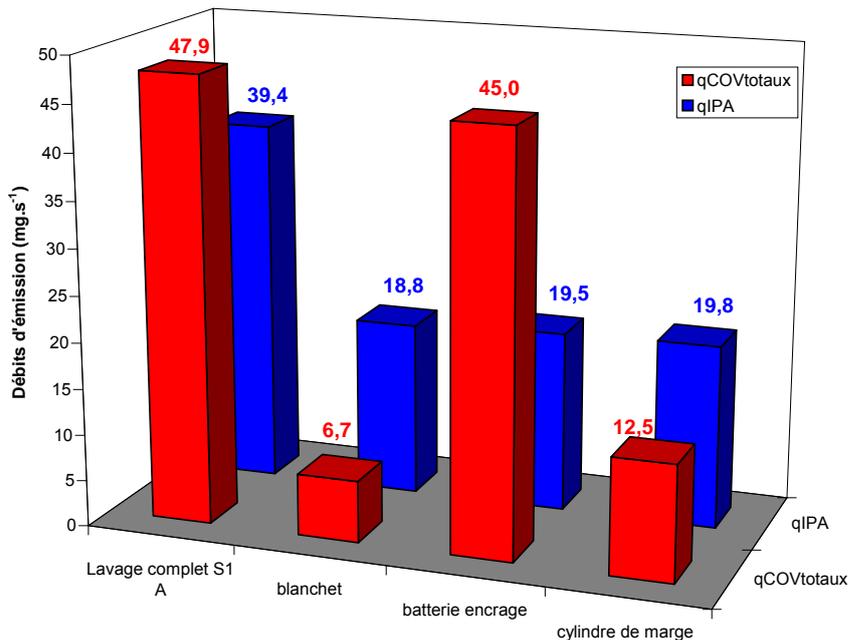


Figure 21. Débits d'émission pour le nettoyage du blanchet, de la batterie d'encrage et du cylindre de marge

Ces résultats montrent que les débits d'émission en COV totaux varient en fonction du type de solvant utilisé et de la manière dont le nettoyage est effectué. Un nettoyage manuel effectué minutieusement émet moins qu'un nettoyage automatique mais l'opérateur est plus exposé. Pour réduire les quantités de COV émises lors du lavage automatique, il faudrait pouvoir optimiser les quantités de solvants généralement programmées.

Cette campagne de mesures confirme l'hypothèse de la prépondérance d'une émission de polluants lors du nettoyage de la batterie d'encrage. Les débits d'émission en COV des solvants "bio" (S8, S9) sont relativement faibles mais, par contre, ils sont très difficiles à utiliser chez les imprimeurs du fait de leur faible taux d'évaporation.

De plus, une fontaine à solvant destinée à nettoyer les pièces de petite taille a été testée (cf. annexe 6). Son utilisation permet de maîtriser les émissions de COV lors de cette opération.

9. Discussion et conclusion

Etant donné l'état actuel des connaissances sur les émissions de COV générées lors du procédé d'impression offset feuilles et l'intérêt pour la profession, il était indispensable d'identifier les sources de pollution, de qualifier et de quantifier les débits d'émission afin de déterminer l'impact potentiel des émissions de COV sur la santé des opérateurs et sur l'environnement et de mettre en œuvre des moyens de réduction.

Les travaux portant sur l'évaluation des émissions de COV générées lors du procédé d'impression offset feuilles ont permis :

- d'appliquer une méthode normalisée en laboratoire sur une machine à imprimer offset deux couleurs ;
- d'établir une référence pour une situation de travail donnée ;
- d'étudier l'influence des paramètres intervenant dans le procédé d'impression offset feuilles sur les émissions de COV (encre, solvants de nettoyage, teneur en alcool isopropylique, solution de mouillage,...) ;
- de hiérarchiser les sources polluantes afin d'orienter les actions à mener pour contrôler et réduire les consommations et les émissions de solvants (changement des méthodes de travail,...) et d'assurer la maîtrise des risques liés aux substances et produits mis en œuvre ;
- de limiter et réduire les émissions diffuses au moyen d'actions les plus pertinentes et les plus efficaces afin d'améliorer les conditions d'hygiène.

9.1. Influence des différents paramètres

Une hiérarchisation des émissions a été établie en fonction de l'influence des paramètres étudiés (cf. tableau 17).

Paramètres	Emissions IPA	Emissions COV totaux
Opérateur	0	0
Papier	0	0
Quantité d'encre	+	0
Nature des encres	++	0
Nettoyage <ul style="list-style-type: none"> ▪ automatique ▪ manuel 	0 0	+++ +++
Blanchet	++++	0
Nettoyage automatique <ul style="list-style-type: none"> ▪ blanchet ▪ batterie d'encre ▪ cylindre de marge 	0 0 0	+ ++++ ++
Solvants	0	++++
Solution de mouillage <ul style="list-style-type: none"> ▪ % IPA ▪ additifs ▪ réducteurs d'alcool ▪ substituts d'alcool 	++++ ++ ++++ ++++	0 0 non identifiable non identifiable
Nombre de groupes d'impression	++++	++++

Tableau 17. Synthèse de l'influence des paramètres

➤ **Opérateur**

L'opérateur n'a pratiquement pas d'influence sur les émissions d'alcool isopropylique et sur les émissions de COV lorsque le nettoyage des différentes parties de la machine s'effectue de manière automatique. Le conducteur doit veiller au bon respect des normes standards d'impression pour obtenir la qualité d'impression requise.

➤ **Papier**

Le papier joue un rôle primordial sur le rendu de l'impression tant du point de vue qualitatif par le contraste de l'impression que quantitatif sur le rendu densitométrique. Le papier mat présente un contraste beaucoup plus faible que le couché brillant. En revanche, l'influence des deux types de papier testé sur le débit d'émission d'alcool isopropylique ou de COV totaux n'est pas significative.

➤ **Quantité d'encre**

La quantité d'encre déposée sur les feuilles imprimées n'a pas d'influence significative sur les débits d'émission. Elle n'est pas suffisamment importante pour voir une réelle augmentation des émissions d'alcool isopropylique.

➤ **Nature des encres**

Les résultats montrent que le débit d'émission d'alcool isopropylique peut varier en fonction de la nature des encres. En effet certaines encres consomment moins de solutions de mouillage et donc moins d'alcool isopropylique. Deux hypothèses peuvent être émises : soit la consommation réelle d'alcool isopropylique est moindre, soit le piégeage de l'alcool isopropylique est plus important au niveau de l'encre (différence d'émulsion), ce qui pourrait différer les émissions dans le temps.

➤ **Nettoyage automatique/manuel**

L'opérateur, de par son professionnalisme, cherche à optimiser et adapte les opérations de nettoyage en fonction de l'état des différentes parties de la machine à nettoyer. Mais ces opérations de nettoyage manuel engendrent une exposition plus importante aux COV de par la proximité de l'opérateur à la machine. Il est donc nécessaire d'exploiter de manière optimale les performances du système de lavage automatique pour réduire les émissions de COV qui sont plus élevées qu'en manuel et d'utiliser différents programmes adaptés en fonction de l'état de propreté de la machine.

➤ **Blanchet**

On peut noter l'influence du blanchet sur les émissions d'alcool isopropylique mais ces résultats méritent d'être confirmés par des expériences complémentaires. Cette diminution pourrait s'expliquer par une consommation moindre de solution de mouillage.

➤ **Nettoyage automatique des différentes parties de la machine**

De par le procédé d'impression offset, le nettoyage automatique de la batterie d'encre nécessite une quantité plus importante de solvant que le nettoyage du blanchet et du cylindre de marge. De plus, l'aspersion de solvant par une rampe de buses sur les rouleaux de la batterie d'encre à une température de 40°C conduit à des émissions de COV plus élevées que le système de nettoyage par tissu.

Le blanchet, qui doit permettre un transfert total de l'encre sur le papier, est logiquement peu "sale" et nécessite donc une plus faible quantité de solvant que la batterie d'encrage. Les opérations de nettoyage du cylindre de marge, consistant à enlever les traces de papier (kaolin), nécessitent légèrement plus de solvant que le blanchet. Le blanchet et le cylindre de marge sont nettoyés au moyen de tissus imprégnés qui sont moins émissifs que la technologie utilisée pour le nettoyage de la batterie d'encrage.

Remarque : Les installations de nettoyage à brosse (installations rencontrées sur des presses de plus grand format) pourraient conduire à des résultats différents.

➤ **Les solvants**

Les émissions de COV générées par les opérations de nettoyage sont fonction de la nature des solvants utilisés. Le graphique (cf. figure 22) montre que les émissions de COV sont plus importantes pour des solvants de points d'éclair inférieur à 55°C (solvants S1, S3, S5 et S7) que pour des solvants de point d'éclair supérieur à 60°C (S2, S4, S6, S8 à S10). La différence des émissions peut être plus importante entre les solvants de points d'éclair inférieur à 55°C et ceux supérieur à 60°C, qu'entre les solvants à base végétale et ceux supérieur à 60°C. Un facteur d'émission compris entre 1 et 6 existe en fonction des caractéristiques physico-chimiques des solvants testés. Les résultats montrent que plus le point d'éclair est faible, plus la tension de vapeur est forte et plus les émissions de COV sont importantes. Il semblerait (cf. figure 23) qu'un palier à 100 Pa puisse être observé pour le nettoyage manuel. L'utilisation de solvant à base végétale garantit l'absence d'émissions de COV mais reste difficilement applicable actuellement (problème de séchage, augmentation de la gâche de papier, etc.).

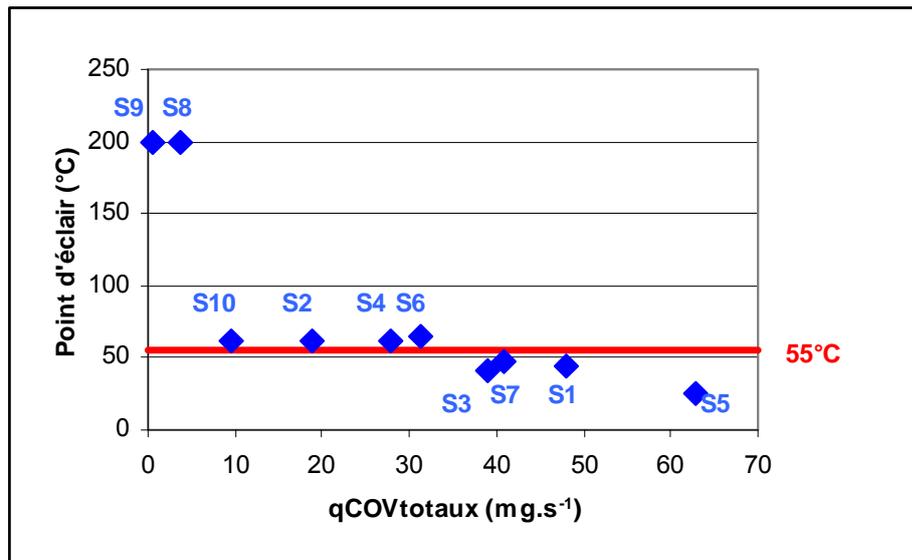


Figure 22. Points d'éclair des différents solvants en fonction des débits d'émission de COV totaux

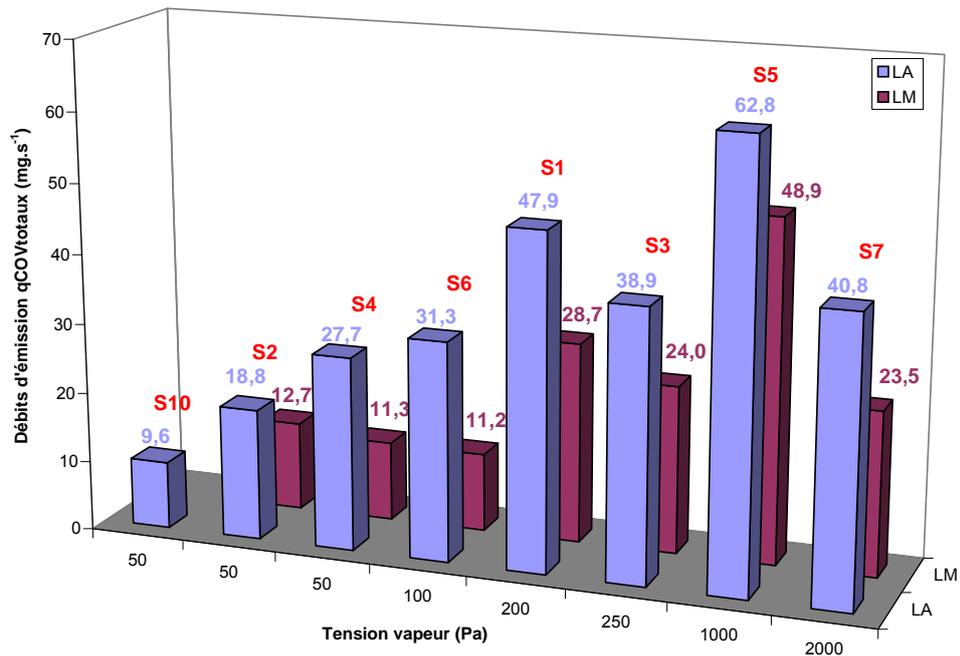


Figure 23. Débits d'émission en COV totaux en fonction de la tension de vapeur des différents solvants

➤ Solutions de mouillage

La solution de mouillage et en particulier le pourcentage d'IPA a une grande influence sur les débits d'émission d'alcool isopropylique. En effet, d'après le graphique ci-dessous, nous pouvons montrer que le débit d'émission d'IPA à 15 % est 3,8 fois plus important qu'à 5 %. Au-delà de 15 %, on atteint un palier. En revanche, les additifs n'ont pas d'influence significative sur les débits d'émission d'IPA.

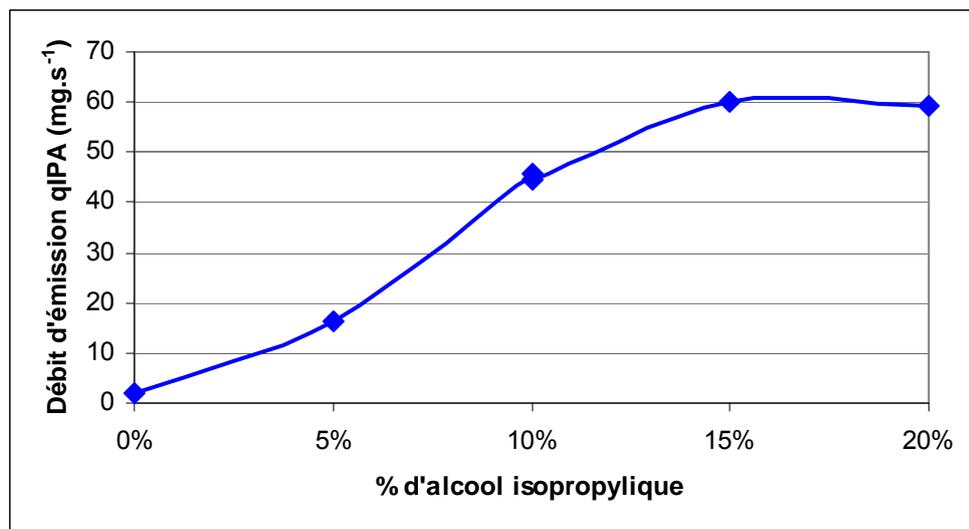


Figure 24. Evolution du débit d'émission d'alcool isopropylique en fonction du pourcentage d'alcool isopropylique

L'expérience (41) réalisée sans alcool isopropylique n'a pu donner des résultats d'impression acceptables (cf. annexe 2 : problème de sèche qui se caractérise par un transfert de l'encre sur la plaque dans les régions non imprimantes). En revanche, l'utilisation d'un pourcentage supérieur à 15 % n'a pas d'effet sur la qualité d'impression.

Contrairement aux substituts d'alcool, les réducteurs peuvent contenir de l'alcool isopropylique. Au cours de ces essais, l'utilisation de ces produits n'a pas permis d'obtenir des résultats qualitativement corrects avec une concentration inférieure à 5 % d'alcool isopropylique. Les réglages eau/encre n'ont pu être optimisés pour obtenir une émulsion eau/encre stable durant les essais. Avec certains produits,

la solution de mouillage a généré de la mousse qui s'est retrouvée dans la machine. De plus, l'utilisation de solutions de mouillage sans alcool nécessite d'avoir une bonne qualité de rouleaux. L'influence de ces produits est significative sur les débits d'émission d'alcool isopropylique, par contre les moyens analytiques utilisés lors de cette étude ne permettent pas de montrer leurs influences sur les débits d'émission de COV totaux. Certains composés n'ont pu être identifiés dans la phase gazeuse.

Afin de réduire les émissions de la solution de mouillage, il est important de :

- bien contrôler le pH, la conductivité, la température et la concentration en alcool isopropylique de la solution de mouillage ;
- de réduire la concentration en alcool à 5 % sans changer les habitudes de travail des conducteurs de machine.

➤ Nombre de groupes d'impression

D'après nos résultats (cf. figure 25), les débits d'émission sont directement liés au nombre de groupes d'impression. Des mesures complémentaires ont été effectuées sur site avec deux machines comportant 4 et 5 groupes d'impression et dont les formats sont respectivement 52*74 et 70*102. Les mesures sur site ont été effectuées dans les mêmes conditions expérimentales : même pourcentage d'alcool isopropylique (10 %) et même solvant de nettoyage que ceux pour la machine deux couleurs mais avec une méthode d'évaluation des débits d'émission différente, adaptée à la configuration de l'atelier.

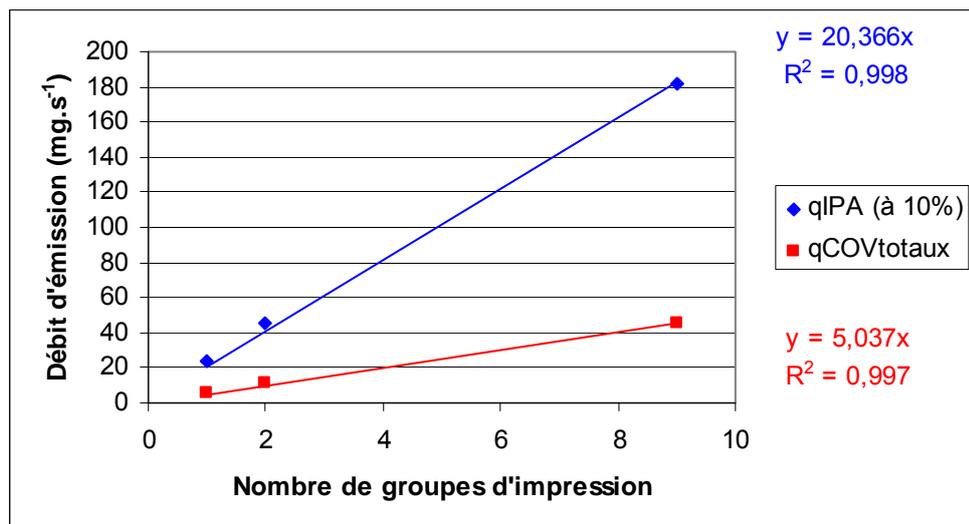


Figure 25. Corrélations entre le nombre de groupes d'impression et les débits d'émission

Il est important de noter que ces corrélations ne prennent pas en compte les émissions annexes au procédé d'impression offset feuilles et devraient être consolidées par d'autres mesures sur site, notamment pour voir l'influence du format des machines.

➤ **Pollutions annexes**

Les activités de nettoyage sont génératrices de déchets très polluants : chiffons imbibés de solvant, rouleaux de tissu pour le nettoyage automatique, les emballages souillés,.... La contribution de ces déchets à la pollution ambiante est importante.

Une seconde mesure pour réduire la pollution engendrée par les opérations de nettoyage consiste à utiliser des fontaines à solvant (cf. figure 27) pour le nettoyage des petites pièces.

9.2. Comparaison à la réglementation environnementale

D'un point de vue environnemental, deux principales prescriptions peuvent potentiellement s'appliquer aux ateliers d'impression offset feuilles :

- l'absence de gêne olfactive pour le voisinage ;
- la limitation des émissions fugitives à 30 % de la consommation totale de solvants si le débit total d'émission est supérieur à 2 kg/h, soit 556 mg/s.

Généralement, l'odeur caractéristique des ateliers d'impression offset est principalement due aux émissions d'alcool. Une entreprise travaillant à de faibles concentrations d'alcool (<5 %) et appliquant une politique de gestion de ses solvants de nettoyage adaptée (limitation du stock dans l'atelier, fermeture systématique des bidons, etc.) limite fortement les gênes olfactives.

En ce qui concerne les émissions fugitives, tous les résultats de cette étude sont inférieurs à 556 mg/s. En première approximation, on peut estimer le débit d'émission à environ 40 mg/s pour un groupe d'impression. La limite des 556 mg/s pourrait être atteinte pour un site comportant un maximum de 20 groupes d'impression. Cette donnée est parfaitement en accord avec la rubrique 2450 (consommation d'encre supérieure à 100 kg/j).

En revanche, elle met en exergue le fait qu'une entreprise, qui ferait le choix de ne consommer que des encres végétales, se trouverait désavantagée. En effet, le passage aux encres végétales conduirait à diminuer la consommation totale de solvants (passage de 25 % de solvants contenus dans les encres à 0 à 5 %) tout en maintenant constante la quantité de solvants émise (les encres n'étant pas sources d'émission). La réglementation ICPE peut donc aujourd'hui, pour certaines très grandes entreprises d'offset feuilles, freiner le développement des encres végétales.

9.3. Proposition d'actions de réduction des émissions de COV

Afin d'améliorer les conditions d'hygiène de travail et environnementale, un ensemble d'actions doit être mis en œuvre pour réduire et limiter les émissions diffuses. Ces actions peuvent être hiérarchisées de la manière suivante :

Réduction des émissions à la source

➤ **Optimisation des performances des installations de nettoyage automatique**

Les gains en termes d'hygiène, de sécurité et de productivité des opérateurs interdisent aujourd'hui un retour au nettoyage manuel. En effet, l'étude montre que des opérations non optimisées de nettoyage automatique sont plus émissives que les opérations de nettoyage manuel. Ce point est, a priori, dû au fait que les fonctionnalités de l'automatisme ne sont pas pleinement exploitées (durée de lavage et quantité de produit pulvérisé en fonction de la quantité d'encre à nettoyer). Une action, réalisée conjointement avec les fournisseurs de matériels, devrait être initiée auprès des opérateurs pour utiliser différents programmes de nettoyage et leur montrer tout l'intérêt sécurité / environnemental apporté par cette bonne utilisation.

➤ **Réduction des émissions d'alcool isopropylique**

Les débits d'émission en alcool isopropylique sont directement liés au pourcentage d'alcool isopropylique introduit dans la solution de mouillage. Quantitativement, les émissions d'IPA sont réduites d'un facteur 3 en diminuant de moitié la concentration d'alcool (de 10 % à 5 %). Il convient donc d'inciter les entreprises à limiter la concentration d'alcool à 5 % et de contrôler les caractéristiques physico-chimiques de la solution de mouillage. En revanche, conduire les entreprises travaillant déjà à 5 % à supprimer totalement l'alcool semble, d'un point de vue environnemental, moins "efficace" même si l'intérêt des réducteurs ou substituts d'alcool est a priori démontré. En revanche, la variable "potentiel d'ozonation" pourrait être introduite afin de déterminer avec précision l'intérêt environnemental apporté par ces produits.

➤ Choix de solvants moins émissifs

Afin de garantir l'efficacité environnementale des actions des professionnels, il semble donc intéressant :

- dans un premier temps, d'accompagner l'ensemble des entreprises du secteur vers une utilisation de solvants de points éclairés supérieurs à 55°C,
- dans un second temps, de rendre les solvants végétaux techniquement plus facile à utiliser.

Il faut prendre en compte, à chaque fois, leur potentiel toxique, leur coefficient d'évaporation et leur caractère inflammable.

➤ Autre source de progrès

Le développement de nouveaux blanchets serait intéressant en vue de réduire les émissions d'alcool isopropylique.

L'intérêt des encres végétales pourrait résider dans la non utilisation de matières fossiles et, selon certaines sources bibliographiques, dans la limitation des émissions de gaz à effet de serre. Une étude complémentaire permettant d'étudier la toxicité de ces encres et de mieux mesurer leur intérêt s'avérerait nécessaire.

Information - Formation

- Sensibilisation du personnel aux risques chimiques et aux phases polluantes du procédé.
- Formation sur l'optimisation des réglages des machines offset feuilles (manuels et automatiques : utilisation de quantités minimales de produits).

Conception des locaux

- Pollution annexe au procédé d'impression (chiffons imbibés de solvant, emballages souillés,...). Une première mesure très efficace pour remédier à cette pollution consiste à installer des poubelles ventilées (cf. figure 26) : l'extraction des polluants (anneau d'aspiration...) placée sur la partie supérieure de la poubelle évite le relargage des solvants contenus dans les déchets [9]. L'utilisation de cette technique simple peut abaisser notablement la pollution. Ce système efficace et peu onéreux est donc à recommander. Les poubelles mobiles ne pouvant être raccordées à un réseau de ventilation-aspiration doivent être fermées par un couvercle et munies de systèmes de type pédale ne permettant qu'une ouverture ponctuelle. Pour limiter les risques incendies–explosion par accumulation de vapeurs de solvants, il est indispensable de vider ces poubelles très régulièrement.

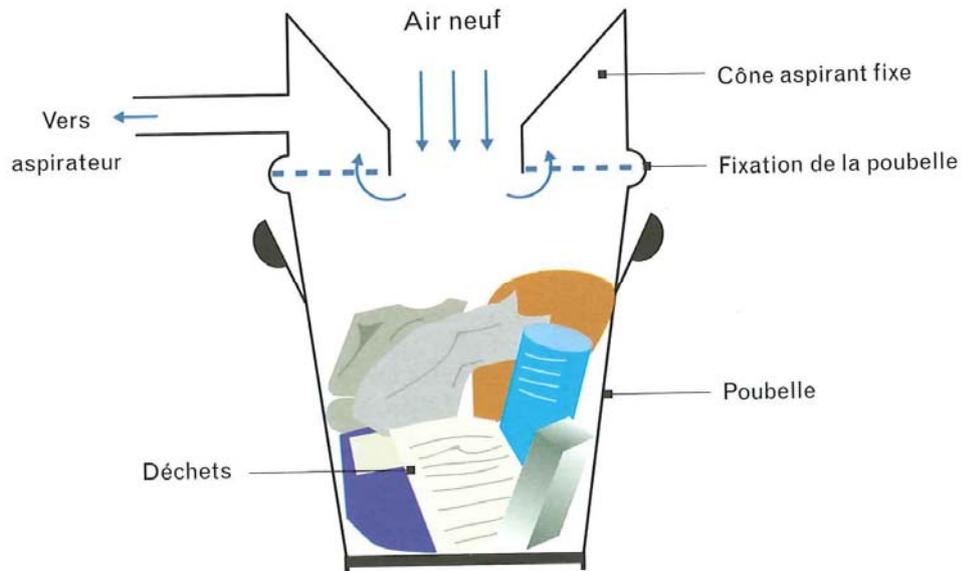


Figure 26. Exemple de poubelle ventilée, à cône aspirant

Remarque : Les chiffons propres réutilisables peuvent être une source de pollution non négligeable dans un atelier d'impression. Ces émissions de polluant peuvent être limitées au moyen de cette technique.

- Une seconde mesure permettant de réduire les émissions lors du nettoyage des pièces de petite taille (spatules, racleurs,...) peut être préconisée. Il est conseillé d'aménager un poste de travail spécifique avec aspiration à la source ou un système type fontaine à solvant (cf. figure 27).



Figure 27. Exemple de fontaine à solvant

- Séparation des locaux : les machines à imprimer et les lieux de stockage du papier imprimé et des produits chimiques doivent être le plus possible isolés des autres postes de travail.
- Stockage du papier imprimé : en effet, des phénomènes de relargage de COV provenant du papier imprimé ont été mis en évidence dans cette étude. Des études complémentaires devraient être réalisées afin de déterminer l'intérêt d'intégrer ce phénomène dans le dimensionnement de la ventilation générale des ateliers ou des lieux de stockage.
- Ventilation des ateliers : il est vivement conseillé d'installer des ventilations générales qui permettront le renouvellement de l'air afin d'éviter les phénomènes d'accumulation de la pollution.

10. Bibliographie

- [1] Loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement. Journal officiel du 20 juillet 1976.
- [2] Décret n°77-1133 du 21 septembre 1977. Décret pris pour l'application de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.
- [3] Décret n° 53-578 du 20 mai 1953. Décret relatif à la nomenclature des établissements classés comme dangereux, insalubres ou incommodes.
- [4] Directive 1999/13/CE du Conseil du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations. Journal officiel n° L085 du 23 mars 1999.
- [5] SIROST J.C. - L'offset : principes, technologie, pratiques. *Dunod*, Paris, 1994.
- [6] NF X 10-141 - Mesurage de débit de gaz dans les conduites fermées. Méthodes par traceurs. Paris La Défense, AFNOR, novembre 1982.
- [7] NF X 43-252 - Air des lieux de travail - Echantillonnage et analyse des polluants gazeux sur charbon actif - Prélèvement par pompage. Paris La Défense, AFNOR, octobre 1991.
- [8] NF EN 1093-3 - Sécurité des machines - Evaluation de l'émission de substances dangereuses véhiculées par l'air. Partie 3 : Débit d'émission d'un polluant donné - Méthode sur banc d'essai utilisant le polluant réel. Paris La Défense, AFNOR, 1995.
- [9] DUGRILLON D. - Les poubelles ventilées. Service prévention des risques professionnels, CRAM Centre, 1993.

ANNEXE 1 - Analyse du papier

- **Surfaces et coupes transversales**
- **Etat de surface**
- **Porosité globale**

Surfaces et coupes transversales papier brillant / mat

Préparations des échantillons :

Pour l'observation des surfaces : les feuilles de papier ont été découpées aux ciseaux, collées sur un plot en laiton à l'aide d'un adhésif en carbone double face, puis métallisées à l'or-palladium pendant environ 20 secondes.

Pour l'observation des coupes transversales : les feuilles ont été découpées au scalpel puis collées à l'aide d'un adhésif en carbone sur un plot spécifique. Les échantillons ont été métallisés de la même manière.

Conditions d'acquisition des images :

Les images ont été acquises sur le microscope électronique à balayage (MEB) de marque JEOL modèle JSM-7400F à une tension d'accélération de 5 kV, une distance de travail de 8 mm, en utilisant le détecteur d'électrons secondaires LEI.

Pour l'observation des surfaces, trois images ont été acquises par grandissement (x2000 , x5000, x10 000) et pour chacune des faces (désignées arbitrairement recto / verso).

Exploitation des images :

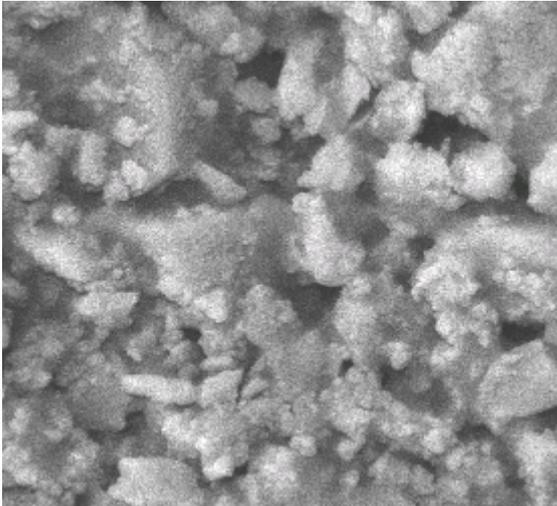
Pour chaque image fournie, les indications de grandissements sont relatives : il s'agit du grandissement du microscope seul, qui ne tient pas compte du facteur x3,3 à la numérisation de l'image à l'écran). La barre d'échelle est correcte et peut être utilisée pour estimer les épaisseurs des feuilles.

L'épaisseur estimée des feuilles est d'environ 80 μm . La préparation des échantillons (découpe au scalpel) génère forcément des variations de l'épaisseur ($\pm 5\mu\text{m}$).

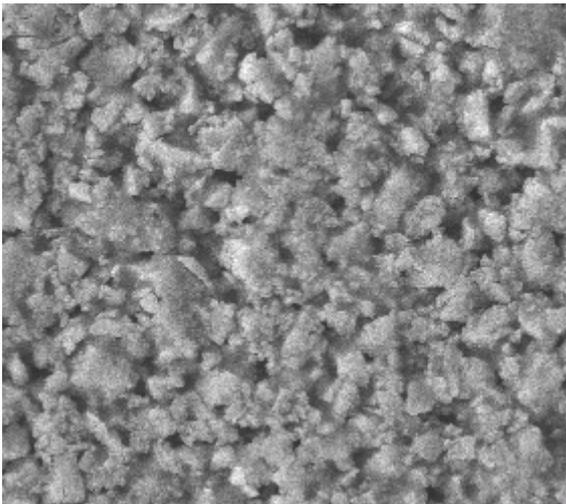
Les fichiers au format .txt associés aux images sont utilisés par le logiciel du MEB pour relire les paramètres d'acquisition des images.

Surfaces - Papier brillant

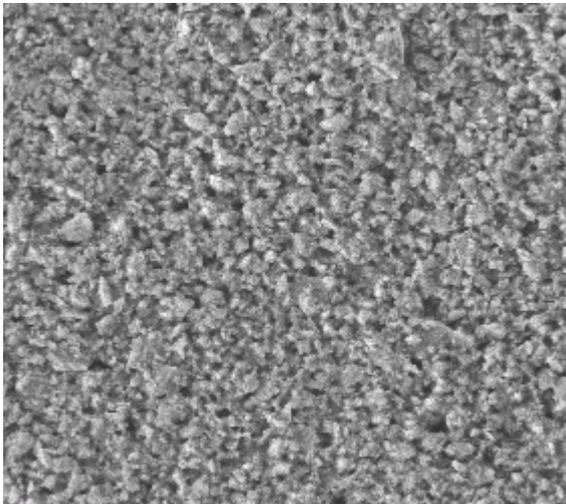
Recto



*10 000

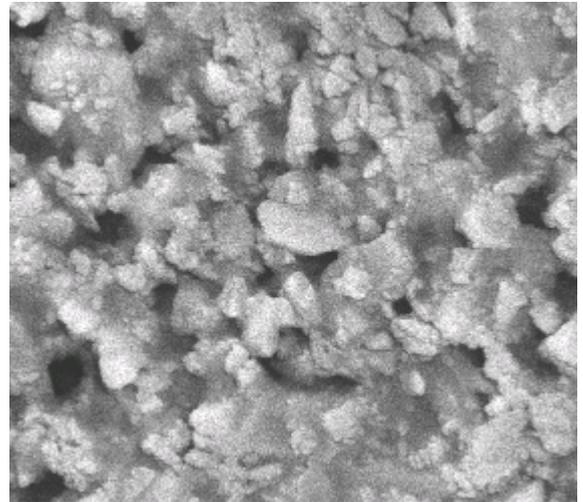


*5 000

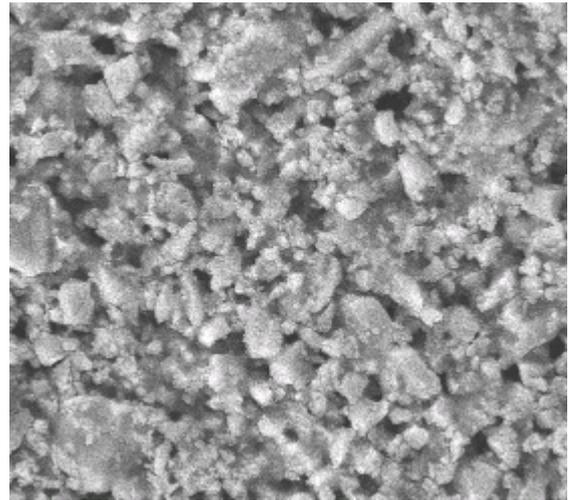


* 2 000

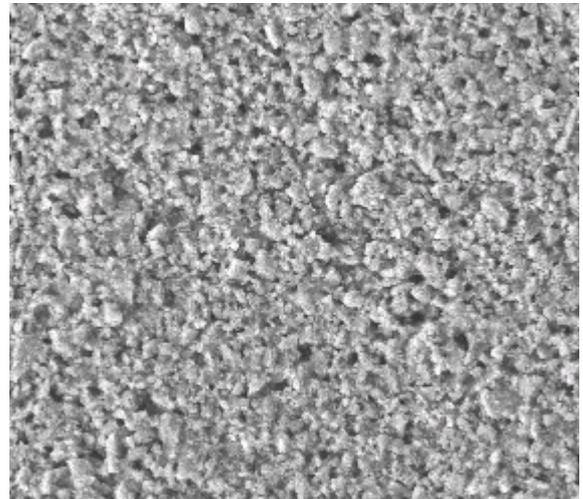
Verso



* 10 000

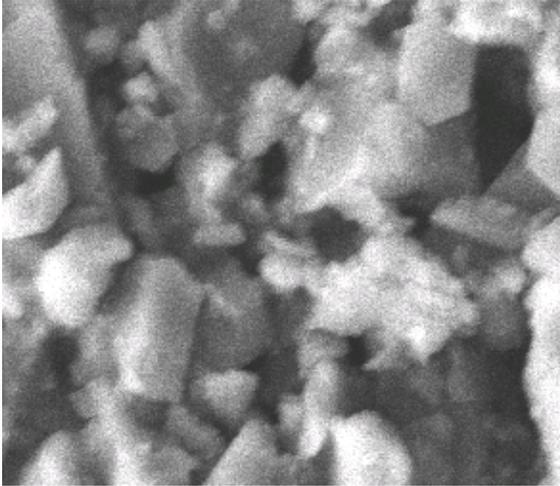


*5 000

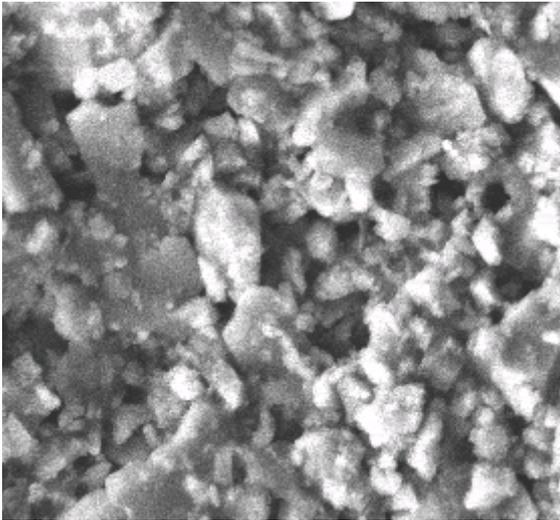


*2 000

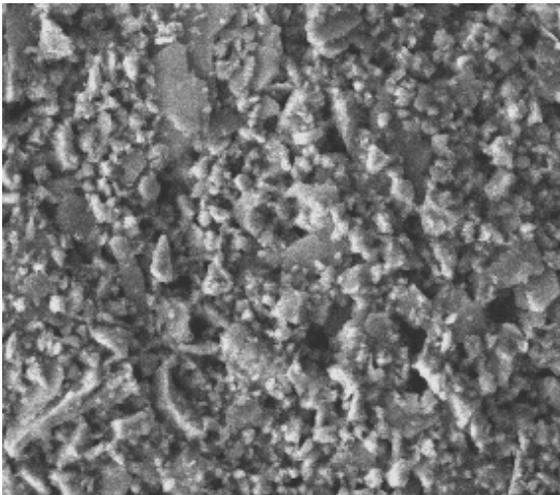
**Papier mat
Recto**



*10 000

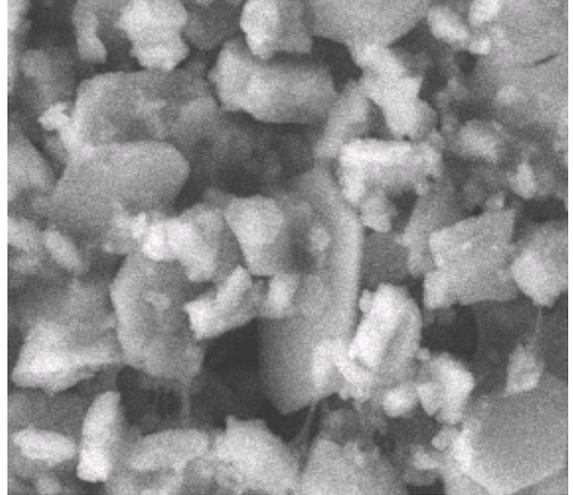


*5 000

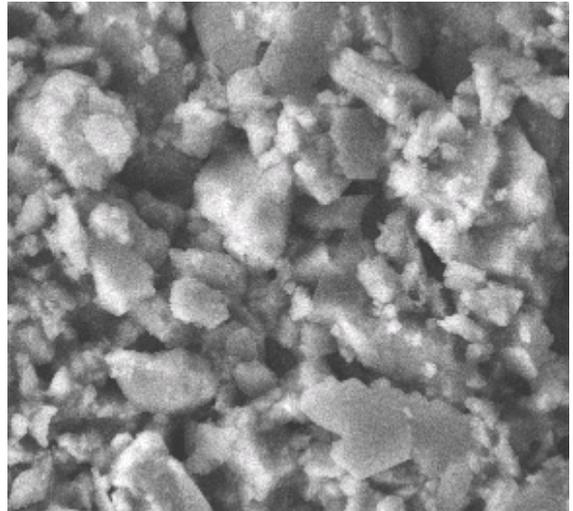


*2 000

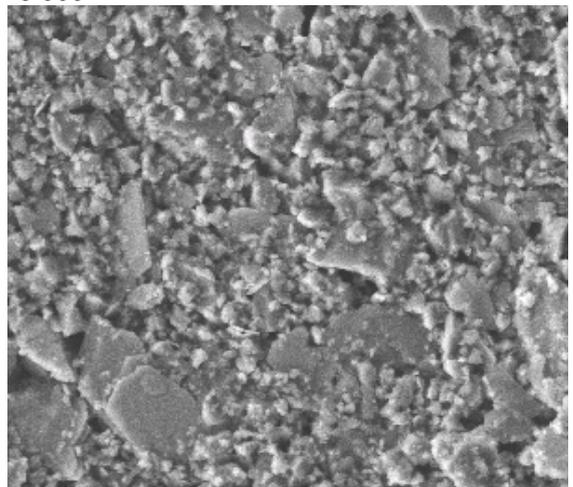
Verso



*10 000



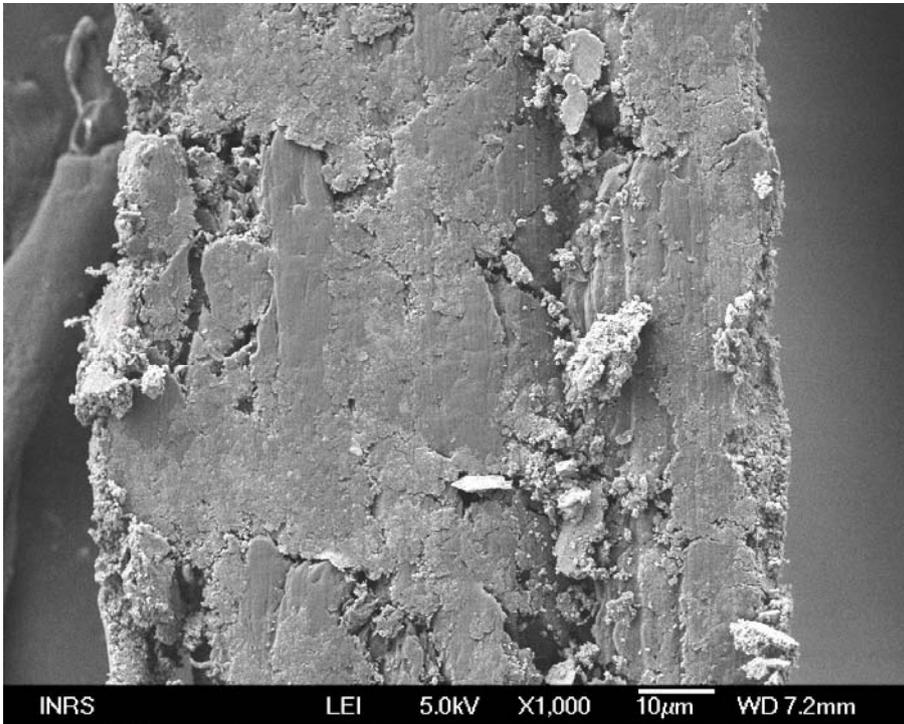
*5 000



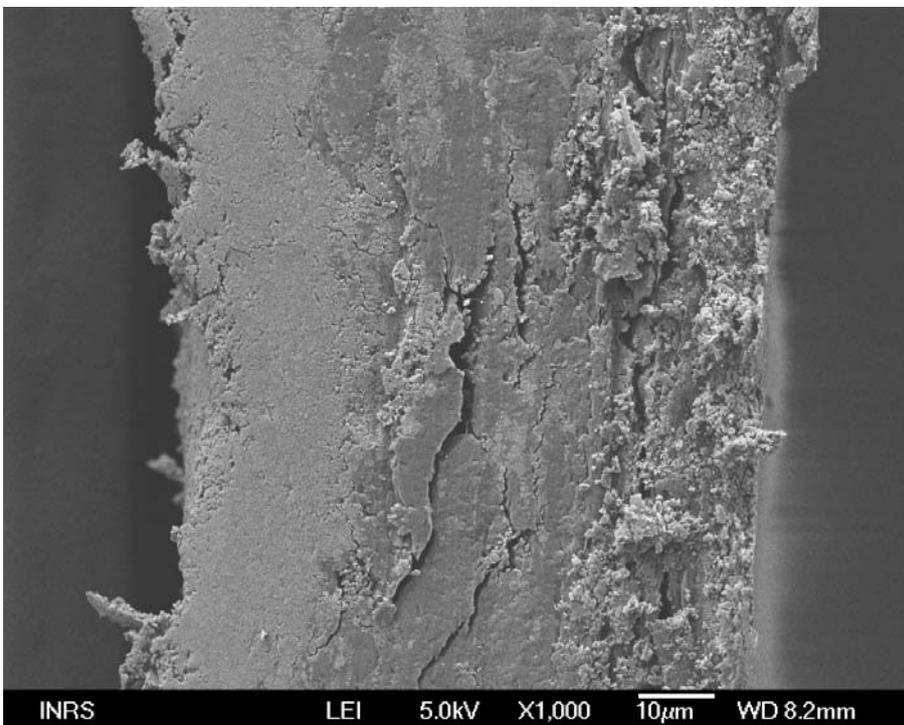
*2 000

Coupes transversales

Papier brillant



Papier mat



Etat de surface

L'état de surface est étudié au bleu micro-contour test. Ce test consiste à mesurer l'expression de la densité optique de l'empreinte d'une encre bleu colorante à la surface du support. Plus la densité est élevée, plus le support est rugueux.

Support	Recto	Verso
Couché brillant	0,04	0,06
Couché mat	0,26	0,25

Le support couché brillant est très lisse, et le couché mat est moyennement lisse.

Porosité

La porosité globale est étudiée au noir porométrique 3809. Ce test consiste à mesurer l'expression de la densité optique de l'empreinte d'une tache d'encre essuyée au bout de 7 secondes et 2 minutes du noir porométrique 3809. Plus la densité optique est élevée, plus le support est poreux et permet la filtration sélective des phases légères de l'encre.

Support	Temps	Recto	Verso
Couché brillant	7 secondes	0,19	0,06
	2 minutes	0,19	0,30
Couché mat	7 secondes	0,33	0,51
	2 minutes	0,30	0,53

On constate une porosité à 7 secondes normale et une bonne évolution permettant à l'encre de sécher convenablement.

ANNEXE 2 - Analyse des imprimés

L'analyse des imprimés consiste à observer la qualité de rendu (acceptable ou non).

Les imprimés douteux :

- Effet du pourcentage d'IPA : exp. 17 : le contraste est plus faible pour le test à 5 % d'IPA que les pour les autres concentrations d'alcool.
- Effet de l'encre :
 - exp. 25 : la couleur noir est moins intense.
 - exp. 26 : la couleur noir est moins bleuté et le jaune plus chaud.
 - exp. 53 : on constate des phénomènes de graissage sur les imprimés, qui seraient non valable industriellement. Le graissage correspond à l'empâtement par l'encre de la plaque offset dans les parties non imprimantes.
- Effet du papier : exp. 29 : la papier mat présente un contraste beaucoup plus faible que le couché brillant.
- Effet de la manière de travailler : exp. 39 : l'expérience réalisée consistait à ne pas respecter les procédures, on observe une nette perte de contraste sur les imprimés.
- Effet de la composition de la solution de mouillage :
 - exp. 41 : l'utilisation d'eau reminéralisée sans additif engendre des problèmes de sèche (l'encre transfère sur la plaque dans les régions non imprimantes), les imprimés sont inacceptables.
 - exp. 42 : les imprimés réalisés avec l'additif 2 (A2) sont acceptables.
 - exp. 43 et 44 : les imprimés réalisés avec l'additif 3 (A3) et les réducteurs d'alcool 1 et 2 (RA1 et RA2) sont limite en sèche et reste acceptables.
 - exp. 45 : les couleurs sont légèrement plus intenses en utilisant le réducteur d'alcool 3 (RA3).
 - exp. 61 : l'utilisation du substitut d'alcool 3 (SA3) entraîne des problèmes de sèches, les imprimés sont à la limite de l'acceptable.
- Effet de la nature du blanchet : exp. 49. on observe des stries sur l'aplat noir avec des problèmes de sèche. L'aplat noir est peu tendu, ce qui rend les imprimés inacceptables.

ANNEXE 3 - Analyse des blanchets

Les mesures réalisées sur les deux blanchets sont données dans le tableau ci-après.

Mesures	Blanchet standard	Nouveau blanchet
Epaisseur (mm)	2	2
Dureté (degré Shore)	80	83
Affaissement de la dureté en contact :		
➤ Encre offset	77	78
➤ Encre UV	80	78
➤ Vernis acrylique	81	80
Tension superficielle	43,7	49
Partie polaire (%)	1	10
Travail d'adhésion (mJ.m⁻²)		
➤ Eau	72	25
➤ Encre	80	93

Ces résultats montrent que l'affaissement de la dureté, que ce soit avec les encres ou le vernis, est plus prononcé pour le nouveau blanchet que pour le standard. Les mesures de tension superficielle et du pourcentage de la partie polaire laissent entrevoir que le nouveau blanchet devrait faire coller l'encre qui ne transférera plus sur le papier. L'eau n'est pas retenue par le nouveau blanchet, l'encre y est beaucoup trop retenue. L'eau s'échappe du blanchet et va sur le papier.

ANNEXE 4

Concentrations des composés organiques spécifiques et limites de détection déterminées par chromatographie gazeuse

Exp.	Concentrations en mg.m ⁻³													C _{cov} totaux en mg.m ⁻³ eqC
	IPA	éthanol	acéto- ne	tolu- ène	éthylb z	m- xylène	o- xylène	nonane	n- propylbz	1,3,5 TMBZ	2-éthyl toluène	1,2,4 TMBZ	1,2,3, TMBZ	
1	27,48	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,41	0,23	0,32	0,34	0,99	0,23	6,51
2	28,96	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,54	0,31	0,46	0,46	1,34	0,32	9,51
3	30,58	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,52	0,29	0,42	0,41	1,09	0,29	8,82
4	35,38	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,39	0,32	0,49	0,44	1,18	0,32	8,82
5	33,86	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,40	0,37	0,56	0,49	1,42	0,37	9,53
6	34,93	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,36	0,33	0,45	0,39	1,07	0,27	6,94
7	24,53	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,51	1,24	1,84	1,62	4,60	1,07	29,83
8	36,23	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,00
9	21,39	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,17	0,19	0,34	0,31	0,84	0,27	11,68
10	21,93	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,87	<LD	<LD	<LD	0,24	<LD	24,20
11	22,09	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,58	<LD	<LD	0,34	0,17	<LD	17,26
12	15,73	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	6,18	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	39,10
13	16,88	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,75	<LD	<LD	<LD	0,21	<LD	19,51
14	15,89	<LD	<LD	<LD	0,08	0,28	0,26	0,60	0,80	1,55	1,53	4,85	1,58	25,40
15	17,82	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,08	0,07	0,21	0,20	0,57	0,21	2,25
16	15,37	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,13	<LD	0,33
17	10,11	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,43	0,33	0,68	0,50	1,36	0,37	8,31
18	21,84	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,32	0,26	0,50	0,41	1,14	0,33	7,31
19	14,29	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,21	0,16	0,37	0,28	0,74	0,21	3,66
20	15,03	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,21	0,16	0,40	0,29	0,78	0,24	4,05
21	37,38	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,29	0,21	0,42	0,33	0,82	0,22	4,89
22	26,96	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,31	0,27	0,54	0,42	0,80	0,17	4,45
23	27,64	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,34	0,27	0,57	0,48	1,01	0,22	5,67
24	28,47	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,43	0,39	0,85	0,72	1,44	0,34	8,61
25	29,79	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,40	0,36	0,52	0,42	1,17	0,29	7,04
26	34,19	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,36	0,34	0,51	0,43	1,28	0,32	7,20
27	17,77	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,21	0,24	0,36	0,31	0,91	0,27	5,23
28	34,93	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,33	0,30	0,46	0,37	1,09	0,28	6,22
29	28,73	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,33	0,32	0,46	0,37	1,02	0,27	6,76
30	16,50	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,81	0,71	1,11	0,95	2,74	0,69	17,85
31	18,26	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,08	0,15	0,25	0,22	0,63	0,24	7,90
32	16,16	<LD	<LD	0,03	<LD	<LD	<LD	1,09	<LD	<LD	<LD	0,29	<LD	14,96
33	15,15	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,21	<LD	0,08	0,17	0,23	<LD	7,06
34	13,86	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	4,77	<LD	<LD	0,83	0,22	<LD	30,42
35	12,77	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,40	<LD	<LD	0,15	0,14	<LD	6,97
36	16,27	<LD	<LD	0,01	<LD	0,15	0,17	0,33	0,51	0,92	0,89	2,98	0,98	14,65
37	17,44	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,04	0,13	<LD	0,88
38	15,65	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,02	<LD	0,04	0,04	0,13	<LD	0,74
39	27,65	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,67	0,46	0,64	0,58	1,54	0,35	10,46
40	23,14	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,31	0,26	0,35	0,31	0,84	0,20	4,92
41	1,27	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,34	0,31	0,42	0,36	0,99	0,25	5,85
42	18,93	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,52	0,29	0,49	0,43	1,25	0,29	6,53
43	6,17	4,30	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,30	0,23	0,37	0,32	0,93	0,21	3,89
44	2,16	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,35	0,22	0,38	0,31	0,90	0,22	5,58
45	0,53	<LD	1,13	<LD	<LD	<LD	<LD	0,34	0,21	0,35	0,29	0,84	0,20	3,83
46	11,69	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,27	0,22	0,39	0,28	0,86	0,19	4,15
47	12,14	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,29	1,12	1,81	1,52	4,43	1,08	28,00
48	12,33	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,38	0,33	0,60	0,45	1,41	0,36	7,77
49	15,85	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,30	0,26	0,46	0,34	1,01	0,25	5,95
50	0,17	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,27	0,22	0,37	0,29	0,88	0,21	5,00
51	0,48	<LD	0,88	<LD	<LD	<LD	<LD	0,24	0,22	0,40	0,28	0,78	0,22	4,63
52	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,38	0,33	0,62	0,49	1,37	0,35	9,06
53	14,00	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,35	0,27	0,48	0,36	1,09	0,28	5,66
54	8,42	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,98	0,88	1,58	1,21	3,51	0,73	23,67
55	7,61	<LD	0,60	<LD	<LD	<LD	<LD	0,11	0,09	0,20	0,15	0,44	0,26	2,20
56	36,94	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,34	0,28	0,52	0,38	1,06	0,29	6,29
57	30,52	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,30	0,25	0,45	0,31	0,88	0,24	4,28
58	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,11	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,78
59	9,06	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,10	<LD	0,16	0,18	0,38	<LD	5,99
60	19,34	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,32	0,24	0,46	0,31	0,85	0,25	4,21
61	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,29	0,26	0,51	0,33	0,91	0,32	3,97

Résultats des prélèvements de composés organiques (mg.m⁻³)

Exp.	Concentrations en ppm													
	IPA	éthanol	acéto- ne	tolu- ène	etbz	m- xylène	o- xylène	nonane	n-pbz	1,3,5 TMBZ	2-éthyl toluène	1,2,4 TMBZ	1,2,3, TMBZ	COV totaux
1	11,18	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,08	0,05	0,06	0,07	0,20	0,05	13,3
2	11,78	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,10	0,06	0,09	0,09	0,27	0,07	19,4
3	12,44	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,10	0,06	0,08	0,08	0,22	0,06	18,0
4	14,39	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,07	0,07	0,10	0,09	0,24	0,07	18,0
5	13,77	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,08	0,07	0,11	0,10	0,29	0,08	19,4
6	14,21	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,07	0,07	0,09	0,08	0,22	0,06	14,1
7	9,98	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,29	0,25	0,37	0,33	0,94	0,22	60,8
8	14,74	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0
9	8,70	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,03	0,04	0,07	0,06	0,17	0,05	23,8
10	8,92	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,36	<LD	<LD	<LD	0,05	<LD	49,3
11	8,99	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,11	<LD	<LD	0,07	0,03	<LD	35,2
12	6,40	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,18	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	79,7
13	6,87	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,33	<LD	<LD	<LD	0,04	<LD	39,7
14	6,46	<LD	<LD	<LD	0,02	0,06	0,06	0,11	0,16	0,32	0,31	0,99	0,32	51,7
15	7,25	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,01	0,01	0,04	0,04	0,12	0,04	4,6
16	6,25	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,03	<LD	0,7
17	4,11	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,08	0,07	0,14	0,10	0,28	0,08	16,9
18	8,88	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,05	0,10	0,08	0,23	0,07	14,9
19	5,82	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,04	0,03	0,08	0,06	0,15	0,04	7,5
20	6,11	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,04	0,03	0,08	0,06	0,16	0,05	8,2
21	15,21	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,05	0,04	0,09	0,07	0,17	0,05	10,0
22	10,97	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,06	0,11	0,09	0,16	0,03	9,1
23	11,24	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,06	0,12	0,10	0,21	0,05	11,6
24	11,58	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,08	0,08	0,17	0,15	0,29	0,07	17,5
25	12,12	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,08	0,07	0,11	0,09	0,24	0,06	14,3
26	13,91	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,07	0,07	0,10	0,09	0,26	0,07	14,7
27	7,23	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,04	0,05	0,07	0,06	0,18	0,05	10,7
28	14,21	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,06	0,09	0,08	0,22	0,06	12,7
29	11,69	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,07	0,09	0,08	0,21	0,06	13,8
30	6,71	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,15	0,14	0,23	0,19	0,56	0,14	36,4
31	7,43	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,02	0,03	0,05	0,04	0,13	0,05	16,1
32	6,58	<LD	<LD	0,01	<LD	<LD	<LD	0,21	<LD	<LD	<LD	0,06	<LD	30,5
33	6,16	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,04	<LD	0,02	0,04	0,05	<LD	14,4
34	5,64	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,91	<LD	<LD	0,17	0,05	<LD	62,0
35	5,19	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,08	<LD	<LD	0,03	0,03	<LD	14,2
36	6,62	<LD	<LD	<LD	<LD	0,04	0,04	0,06	0,10	0,19	0,18	0,61	0,20	29,8
37	7,09	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,01	0,03	<LD	1,8
38	6,37	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,00	<LD	0,01	0,01	0,03	<LD	1,5
39	11,25	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,13	0,09	0,13	0,12	0,31	0,07	21,3
40	9,41	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,05	0,07	0,06	0,17	0,04	10,0
41	0,52	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,06	0,09	0,07	0,20	0,05	11,9
42	7,70	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,10	0,06	0,10	0,09	0,25	0,06	13,3
43	2,51	2,00	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,05	0,08	0,06	0,19	0,04	7,9
44	0,88	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,07	0,05	0,08	0,06	0,18	0,04	11,4
45	0,21	<LD	0,50	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,04	0,07	0,06	0,17	0,04	7,8
46	4,76	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,05	0,05	0,08	0,06	0,18	0,04	8,5
47	4,94	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,25	0,23	0,37	0,31	0,90	0,22	57,1
48	5,02	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,07	0,07	0,12	0,09	0,29	0,07	15,8
49	6,45	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,05	0,09	0,07	0,21	0,05	12,1
50	0,07	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,05	0,04	0,08	0,06	0,18	0,04	10,2
51	0,19	<LD	0,40	<LD	<LD	<LD	<LD	0,05	0,04	0,08	0,06	0,16	0,04	9,4
52	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,07	0,07	0,13	0,10	0,28	0,07	18,5
53	5,70	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,07	0,06	0,10	0,07	0,22	0,06	11,5
54	3,43	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,19	0,18	0,32	0,25	0,71	0,15	48,2
55	3,10	<LD	0,26	<LD	<LD	<LD	<LD	0,02	0,02	0,04	0,03	0,09	0,05	4,5
56	15,03	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,07	0,06	0,11	0,08	0,21	0,06	12,8
57	12,42	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,05	0,09	0,06	0,18	0,05	8,7
58	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,6
59	3,68	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,02	<LD	0,03	0,04	0,08	<LD	12,2
60	7,87	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,05	0,09	0,06	0,17	0,05	8,6
61	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,05	0,10	0,07	0,19	0,06	8,1

Résultats des prélèvements de composés organiques (ppm)

Produit	Densité	Masse Molaire (g.mol ⁻¹)	LD (µg.mL ⁻¹)	LD (mg.m ⁻³)	LD (ppm)
Isopropanol	0,79	60,1	3,5	0,3	0,10
Nonane	0,72	128,3	0,9	0,1	0,01
n Propyl Benzene	0,86	120,2	1,0	0,1	0,02
1,3,5 TMBZ	0,86	120,2	1,1	0,1	0,02
2 Ethyl Toluene	0,89	120,2	1,1	0,1	0,02
1,2,4 TMBZ	0,89	120,2	1,2	0,1	0,02
1,2,3 TMBZ	0,89	120,2	1,4	0,1	0,02
Ethanol (approximation)	0,81	46,1	2,5	0,2	0,10
Acetone	0,79	58,1	2,3	0,2	0,10
Toluene	0,87	92,1	1,0	0,1	0,02

volume de prélèvement moyen de 12.87 L

Limites de détection

ANNEXE 5

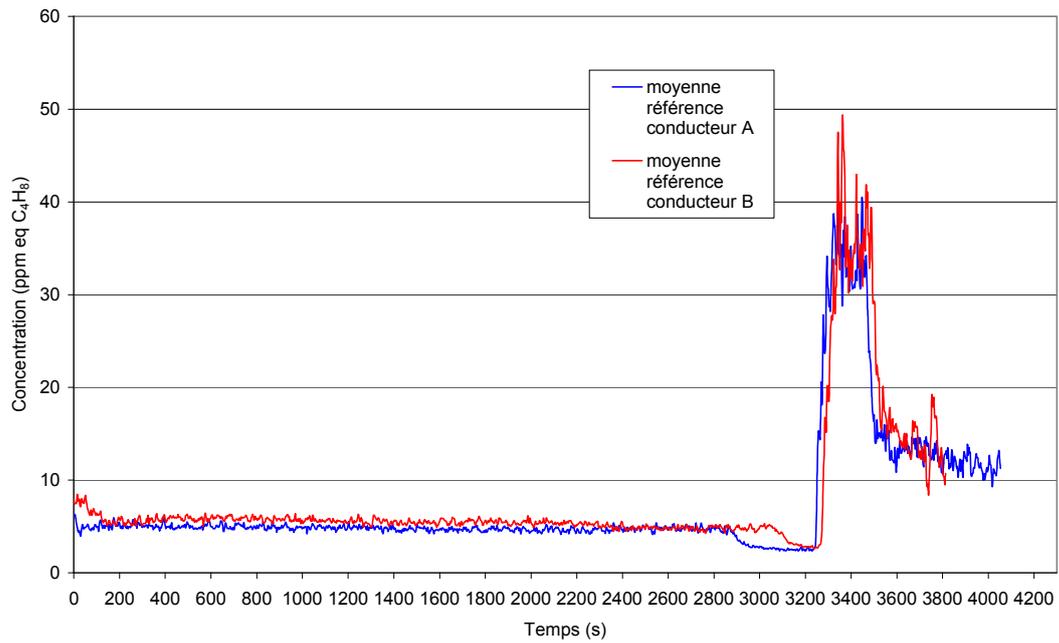
Profils de concentration (PID)

Première configuration

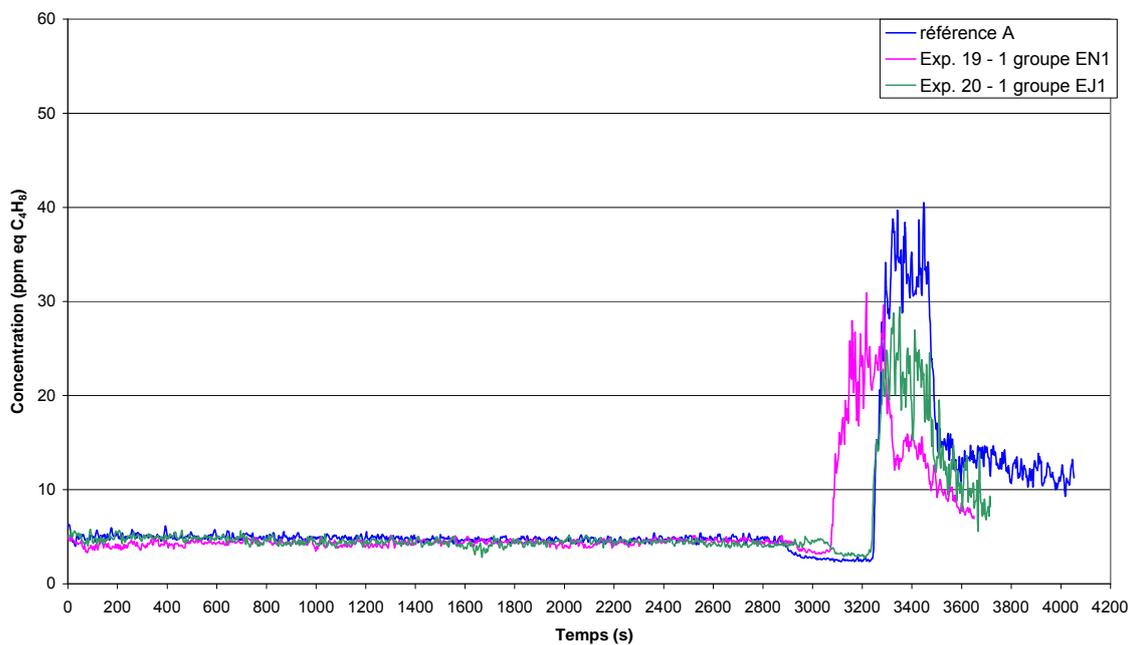
- Influence du conducteur de machine : graphique 1
- Influence du nombre de groupes : graphiques 2 et 3
- Influence de la nature des encres : graphiques 6 à 8
- Influence du pourcentage d'alcool isopropylique : graphiques 9 à 11
- Influence de la solution de mouillage : graphiques 12 à 16
- Influence de la manière de travailler : graphique 17
- Influence de l'impression : graphique 18
- Influence du type du papier : graphique 19
- Influence de la nature du blanchet : graphique 20

Seconde configuration

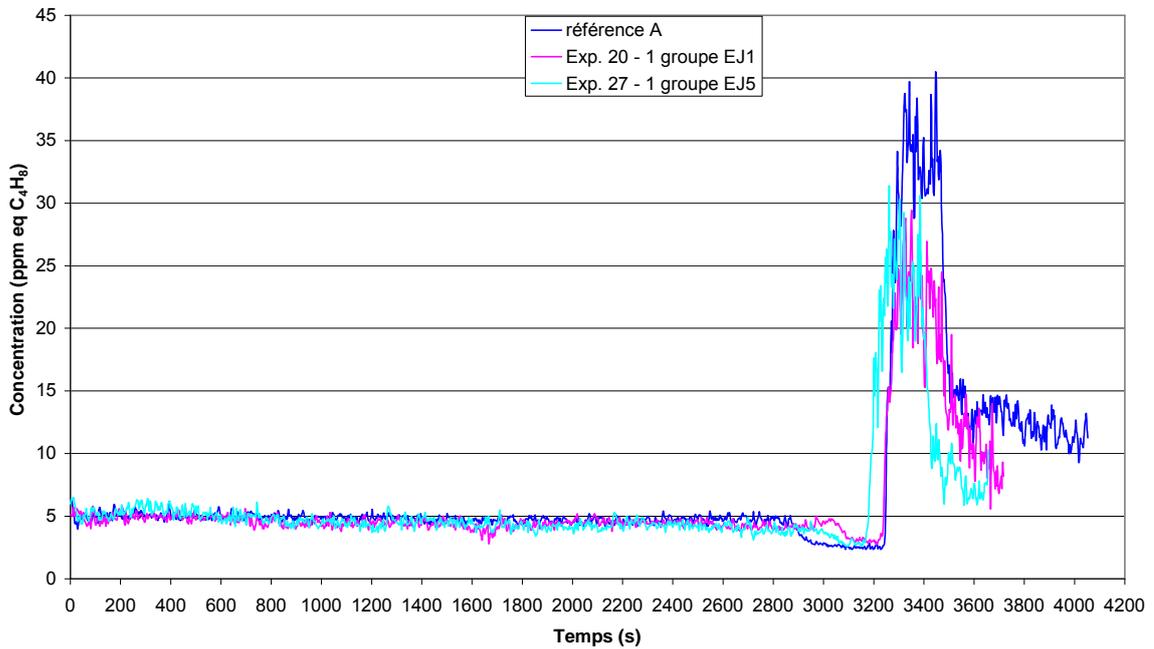
- Influence des solvants lors du lavage automatique : graphiques 21 à 30
- Influence des solvants lors du lavage manuel : graphiques 31 à 37
- Influence du lavage du blanchet, de la batterie d'encrage et du cylindre de marge : graphiques 38 à 40



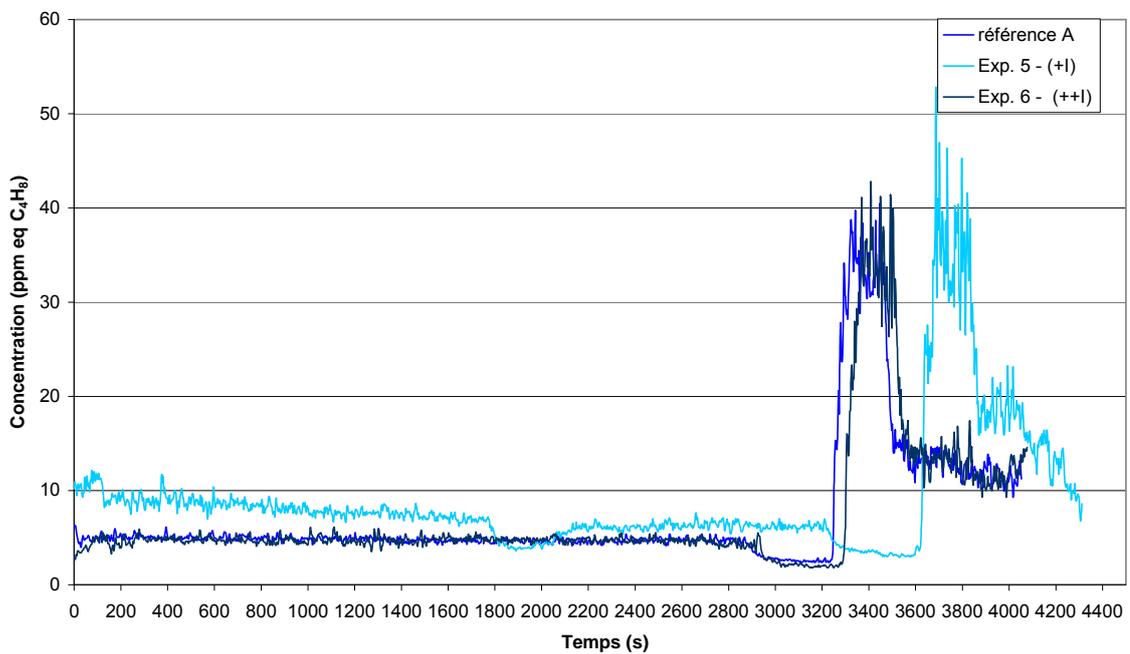
Graphique 1. Influence du conducteur de machine



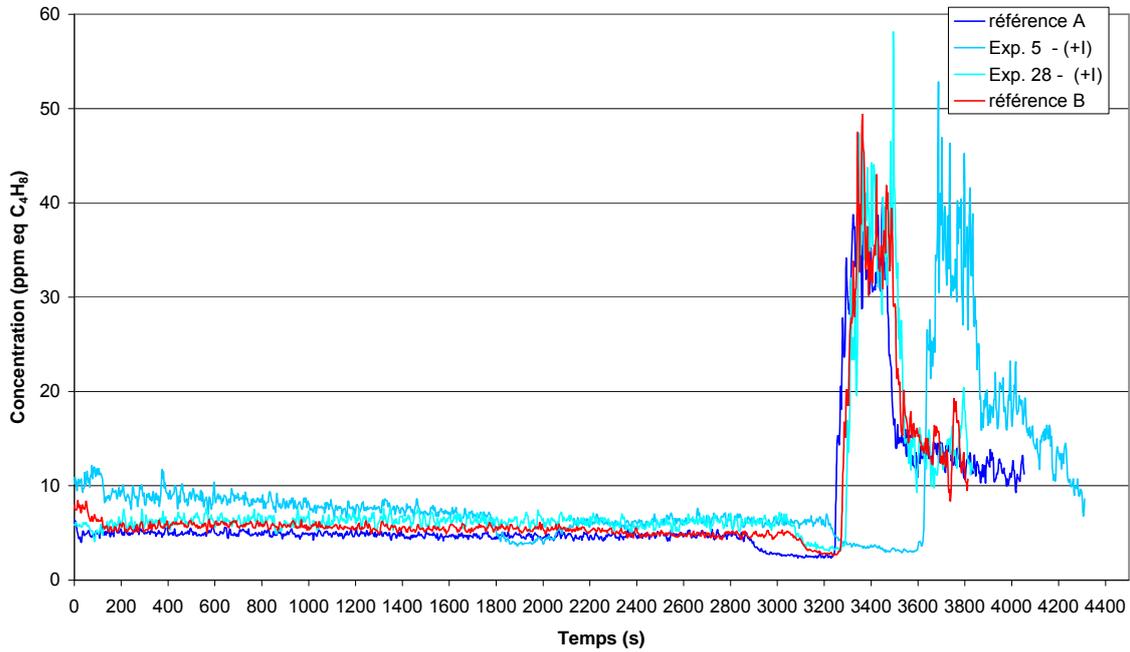
Graphique 2. Influence du nombre de groupes d'impression (EN1 et EJ1)



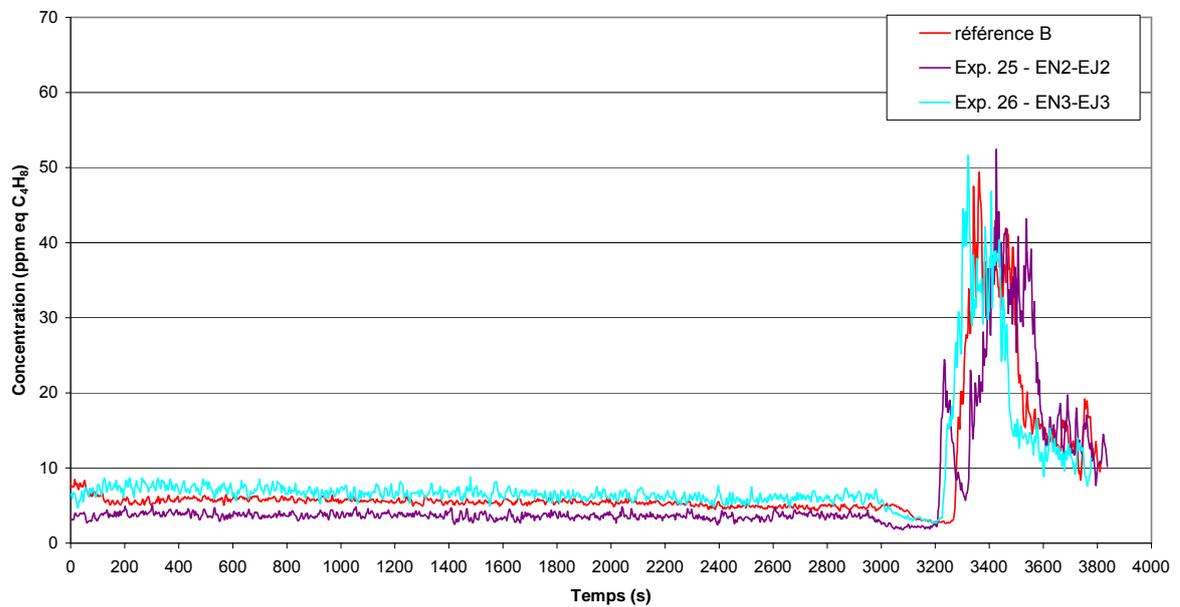
Graphique 3. Influence du nombre de groupes d'impression (EJ1 et EJ5)



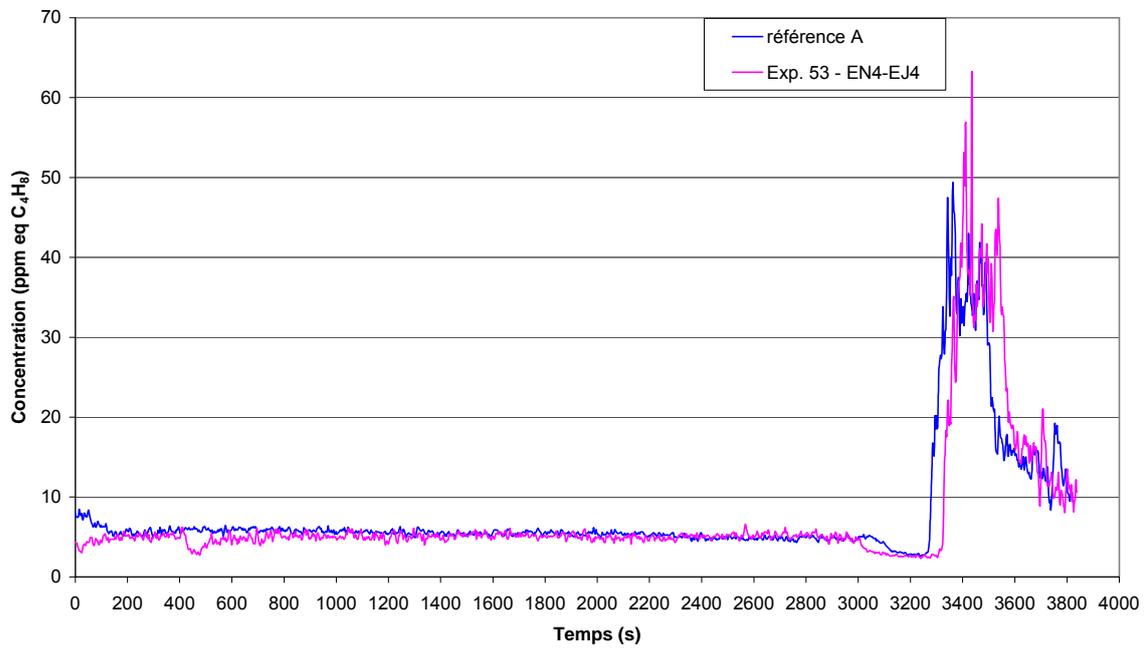
Graphique 4. Influence de la quantité d'encre déposée



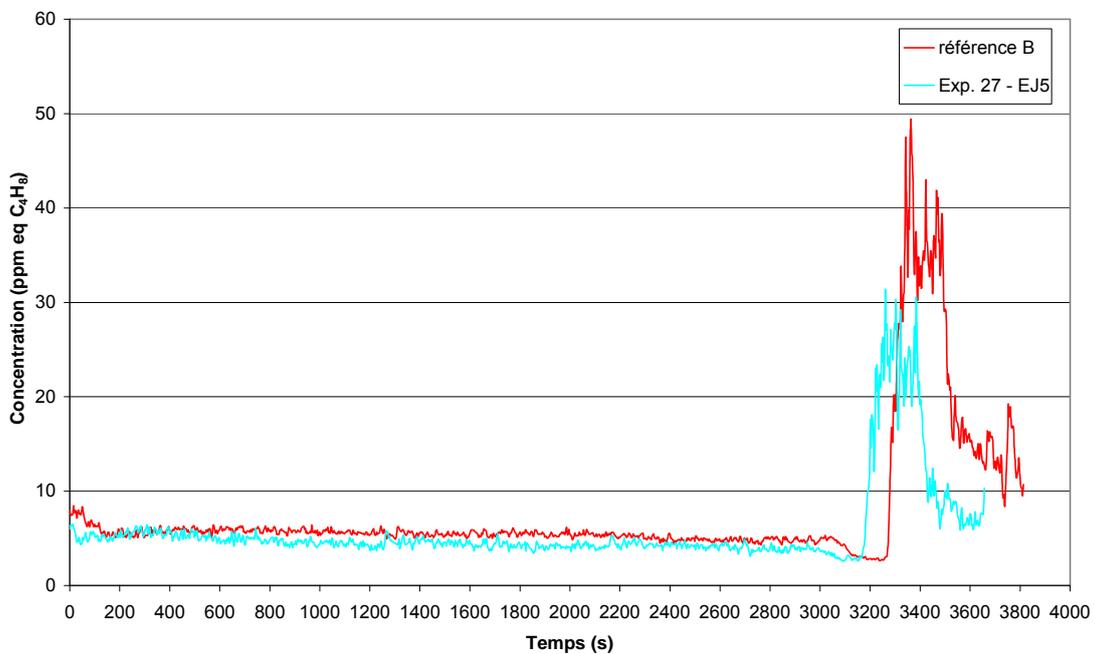
Graphique 5. Influence de la quantité d'encre déposée par rapport à la référence



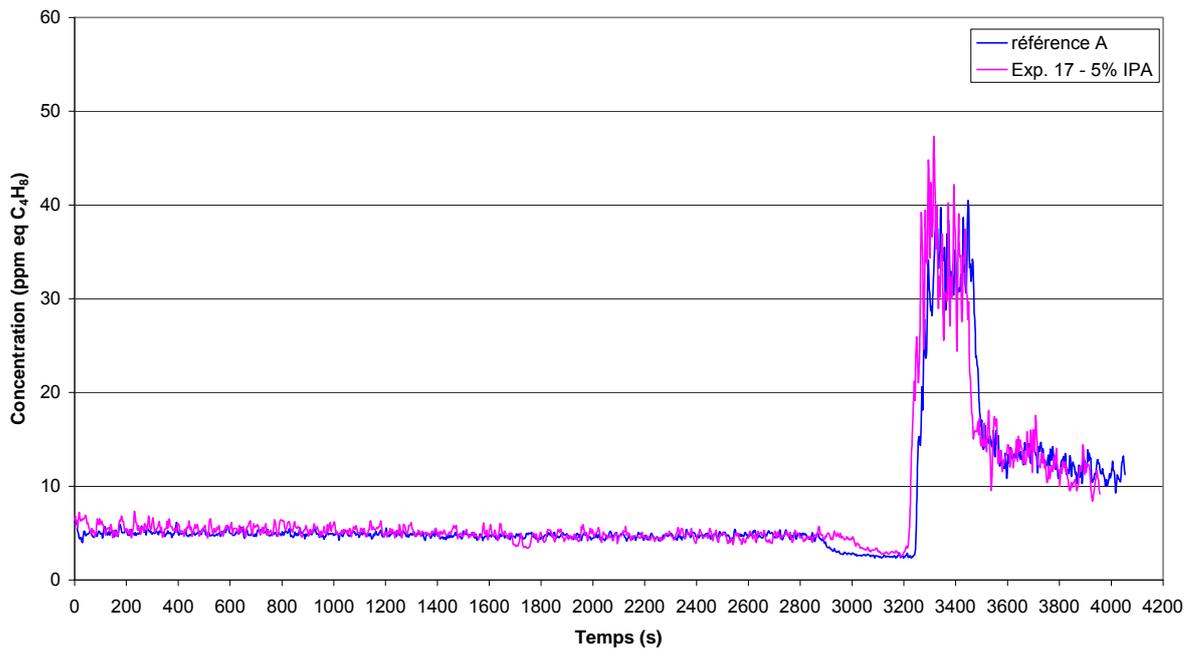
Graphique 6. Influence des encres 2 et 3 par rapport à la référence



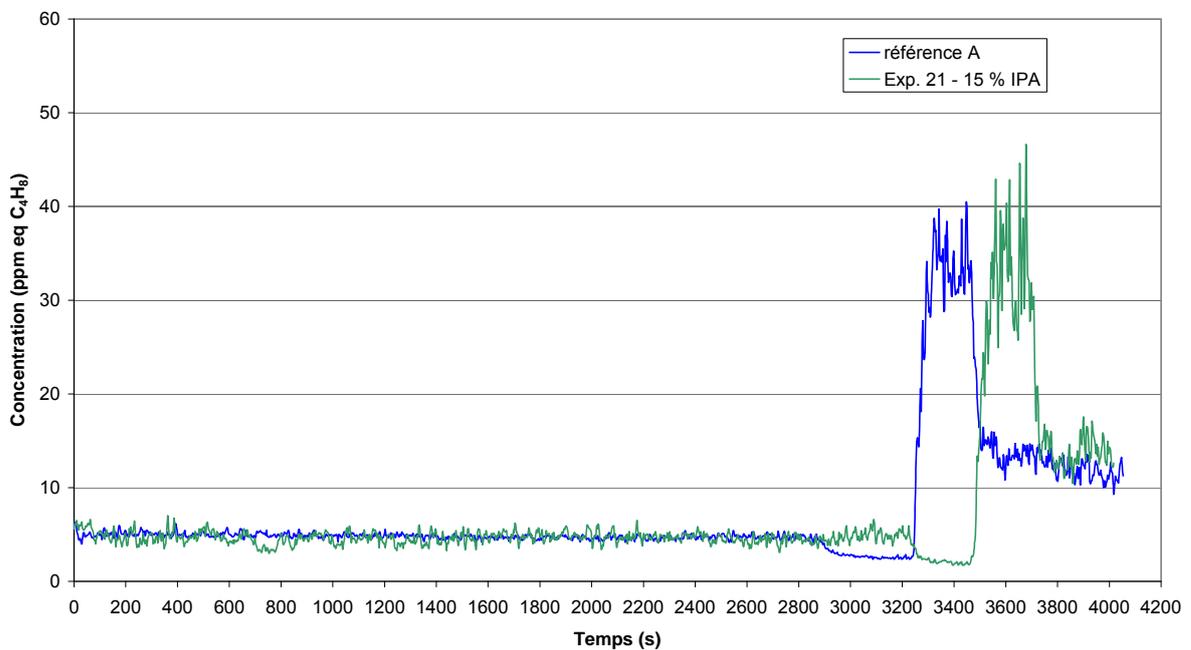
Graphique 7. Influence de l'encre 4 par rapport à la référence



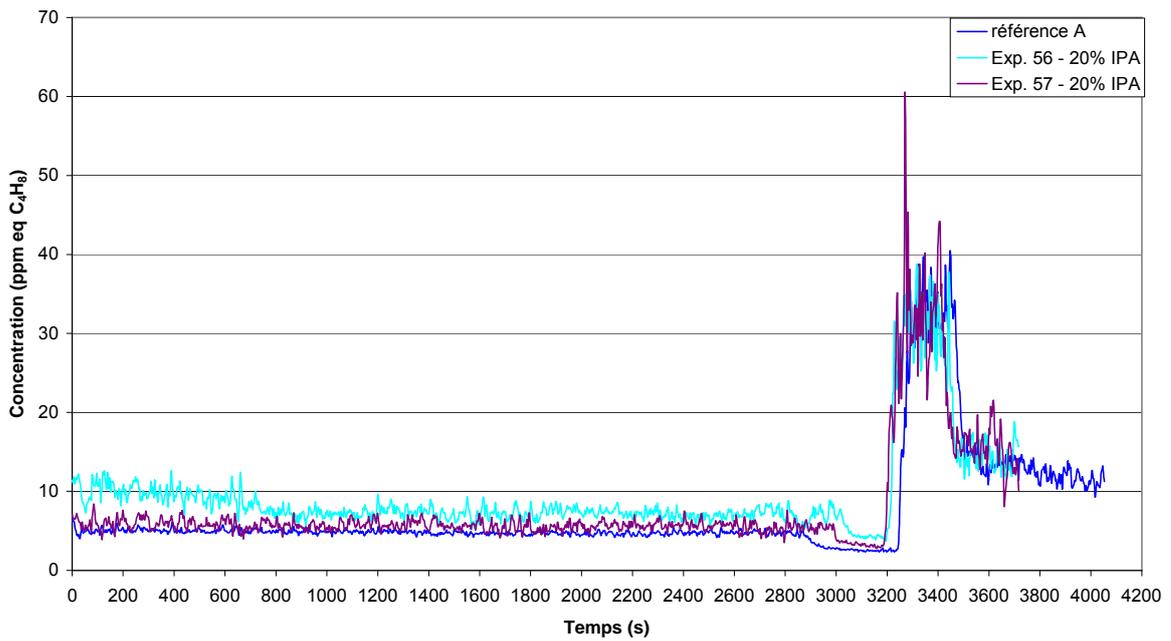
Graphique 8. Influence de la nature d'une encre jaune par rapport à l'encre de référence



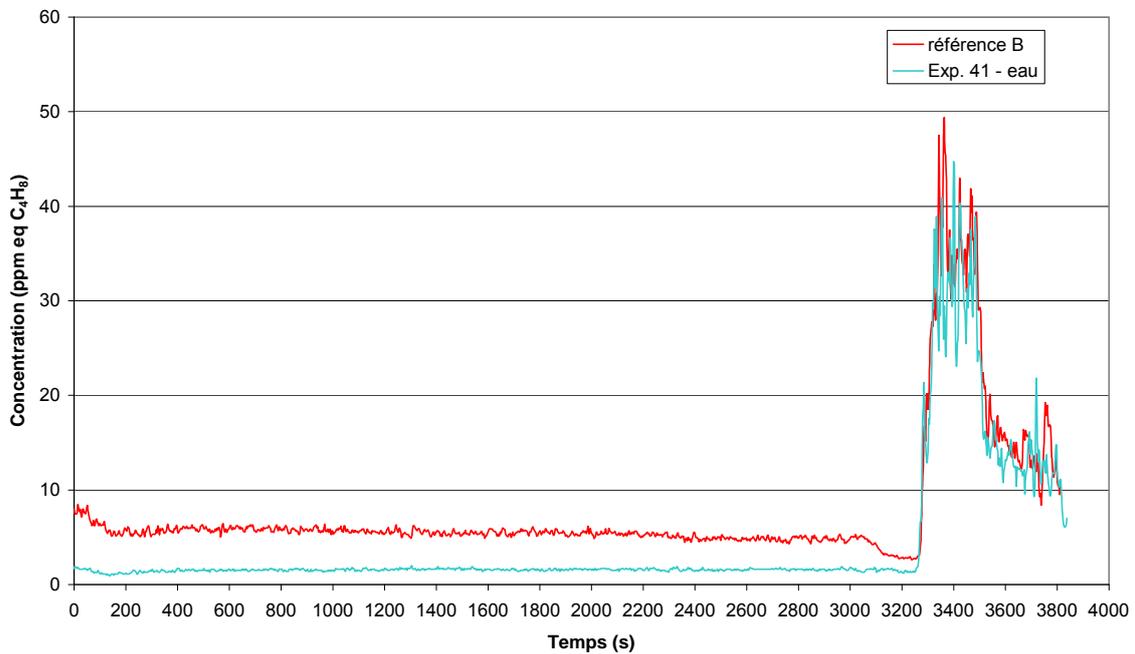
**Graphique 9. Influence du pourcentage d'alcool isopropylique
(10 % : référence et 5 %)**



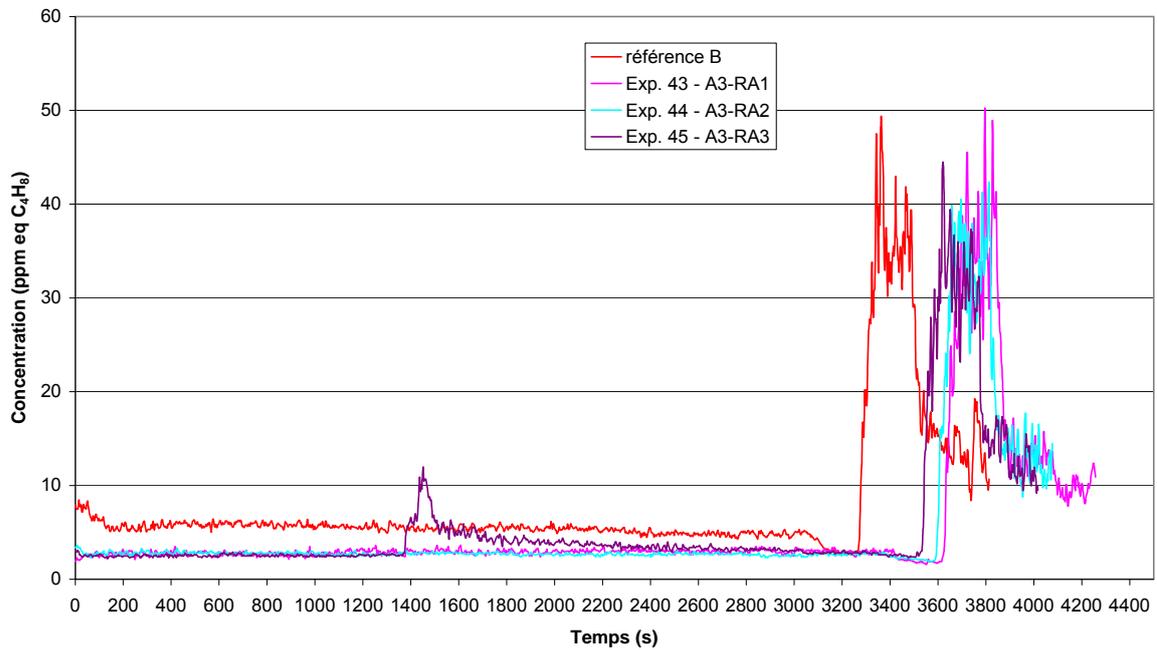
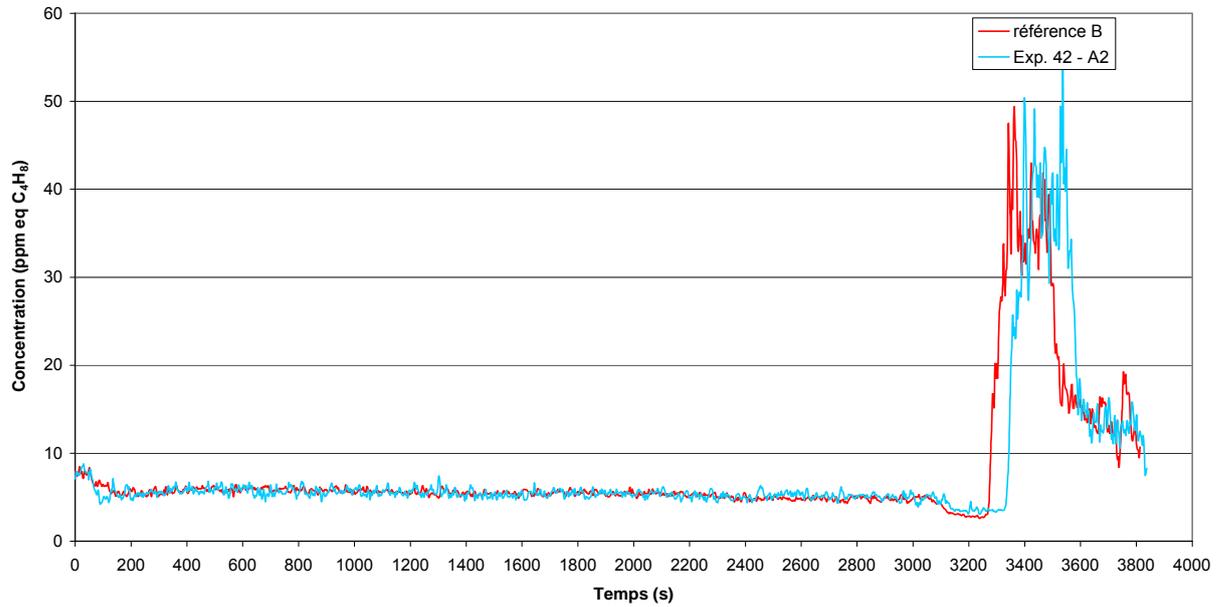
**Graphique 10. Influence du pourcentage d'alcool isopropylique
(10 % et 15 %)**

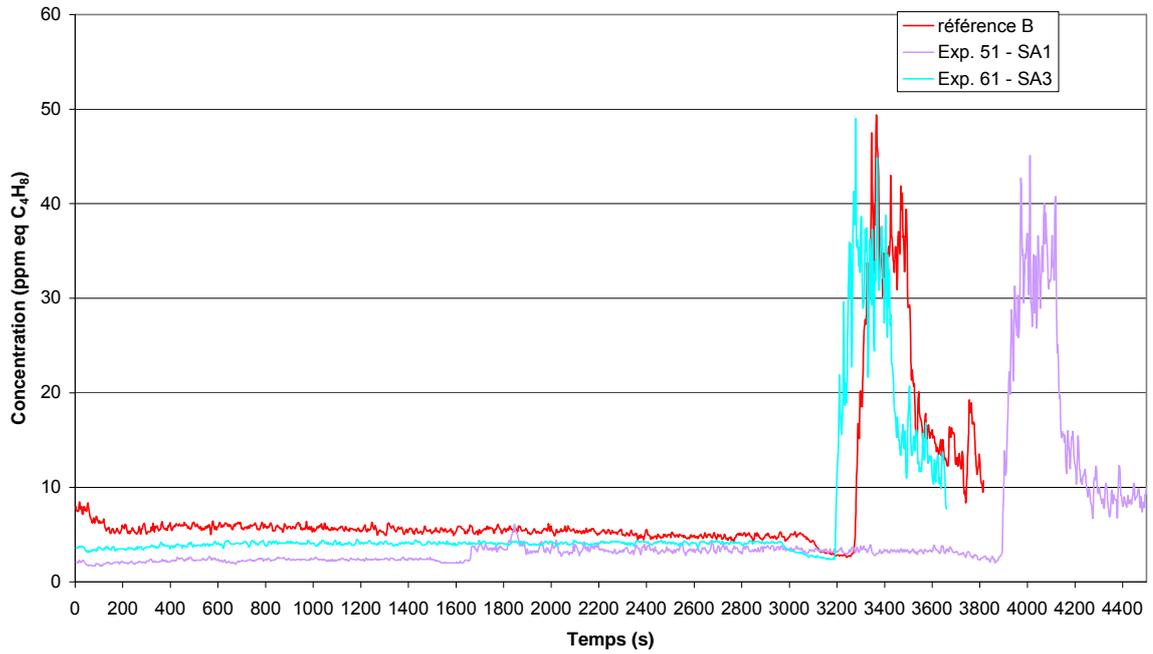


Graphique 11. Influence du pourcentage d'alcool isopropylique (10 % et 20 %)

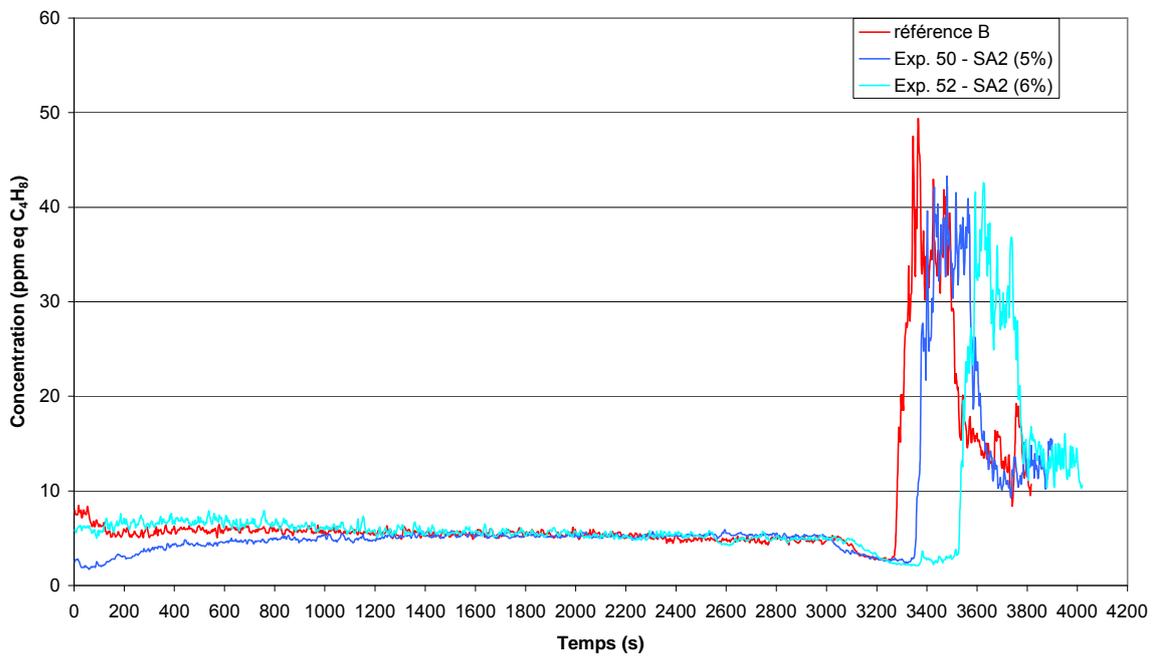


Graphique 12. Influence d'une solution de mouillage composée de 100 % d'eau

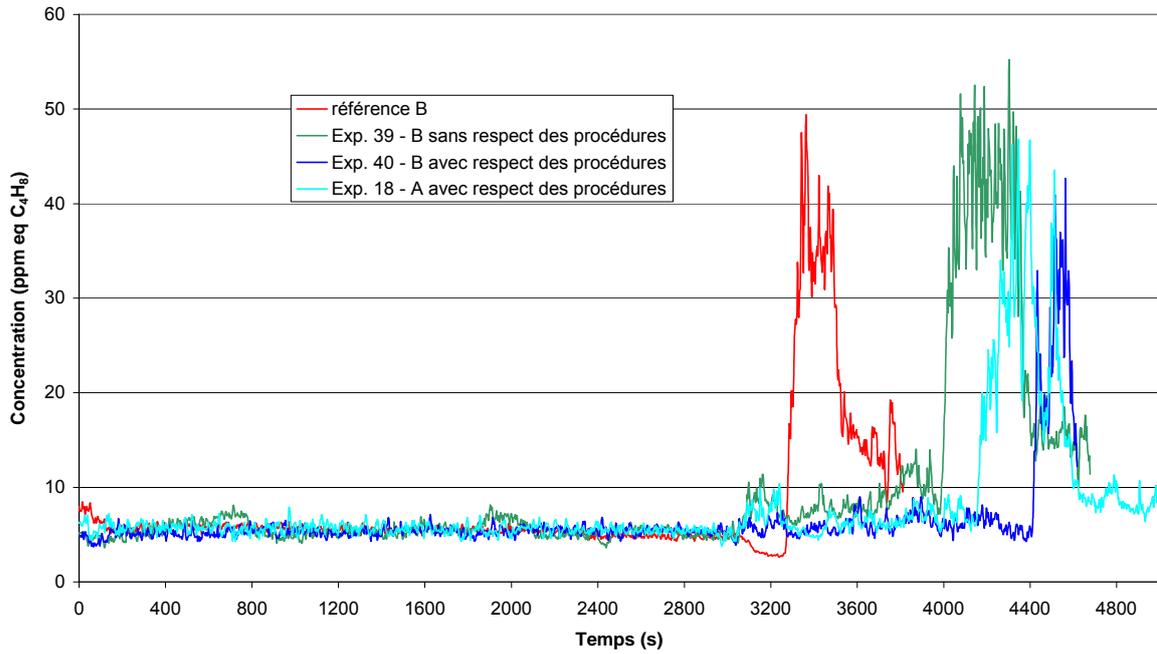




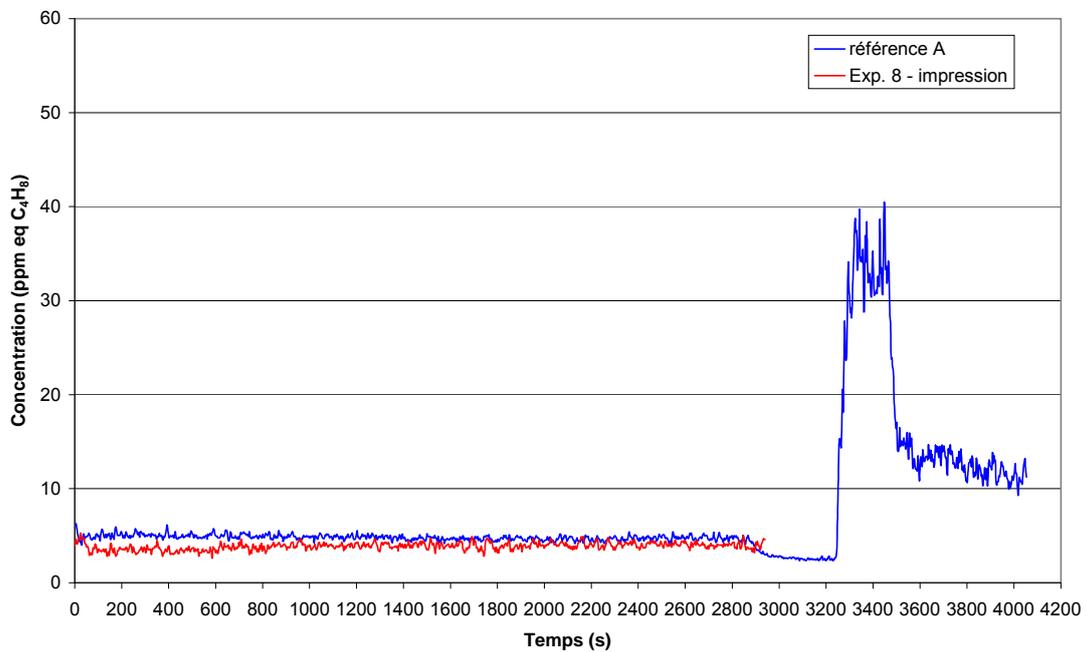
Graphique 15. Influence des substitués d'alcool (SA 1 et SA 3)



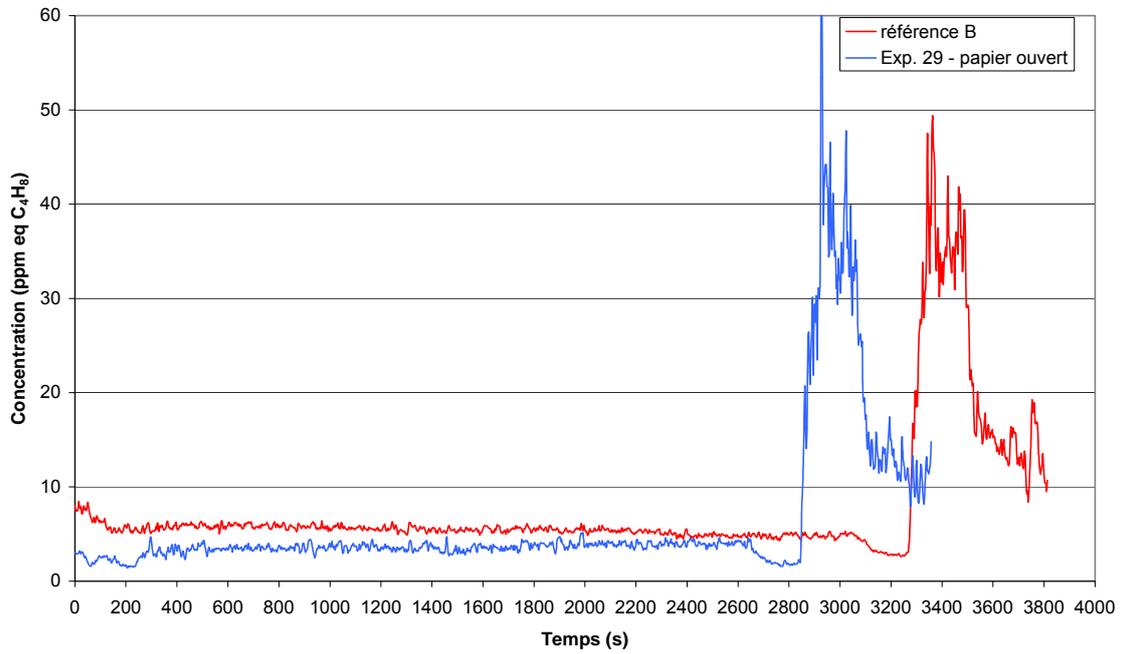
Graphique 16. Influence du substitut d'alcool (SA 2)



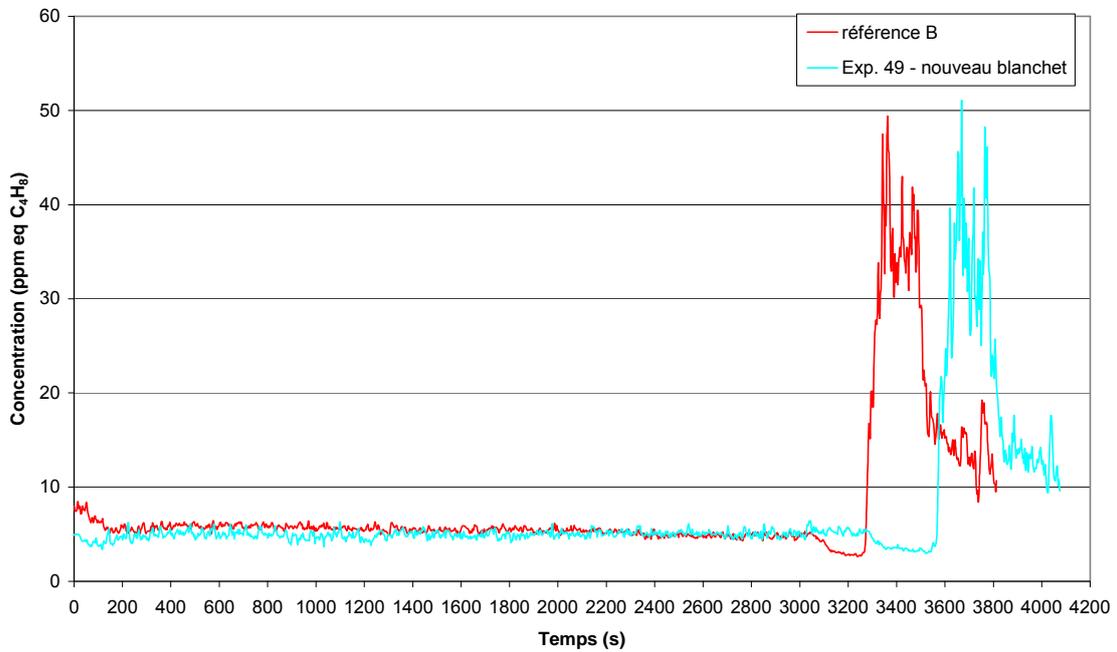
Graphique 17. Influence de la manière de travailler (avec lavage manuel)



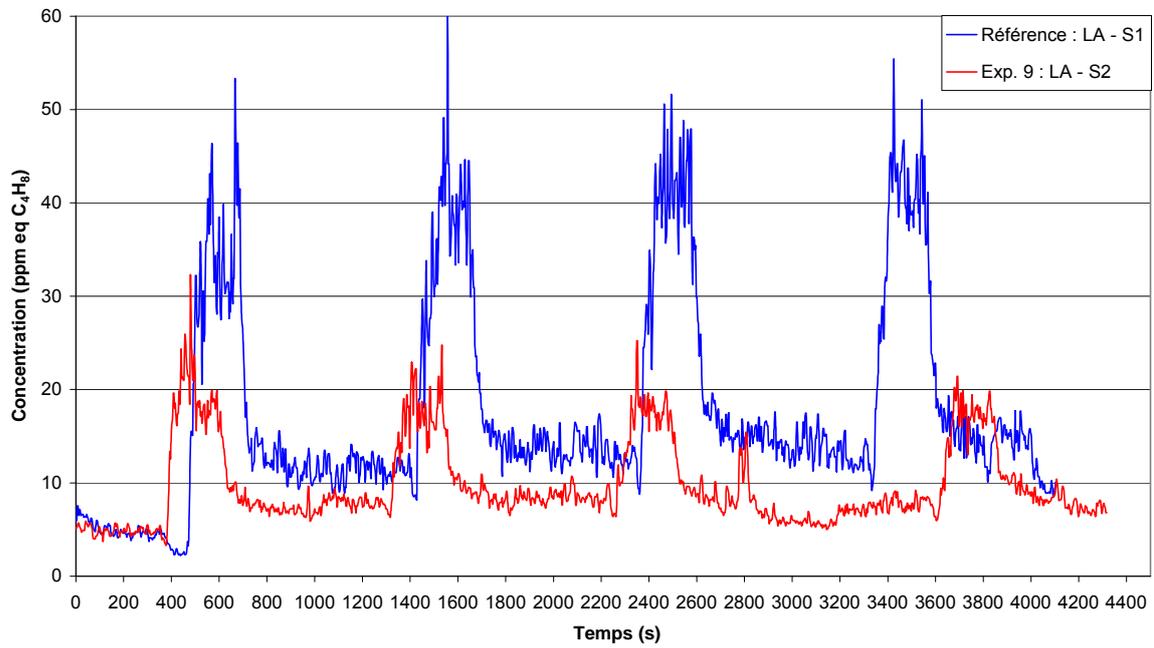
Graphique 18. Evolution de la concentration en COV lors de la phase d'impression



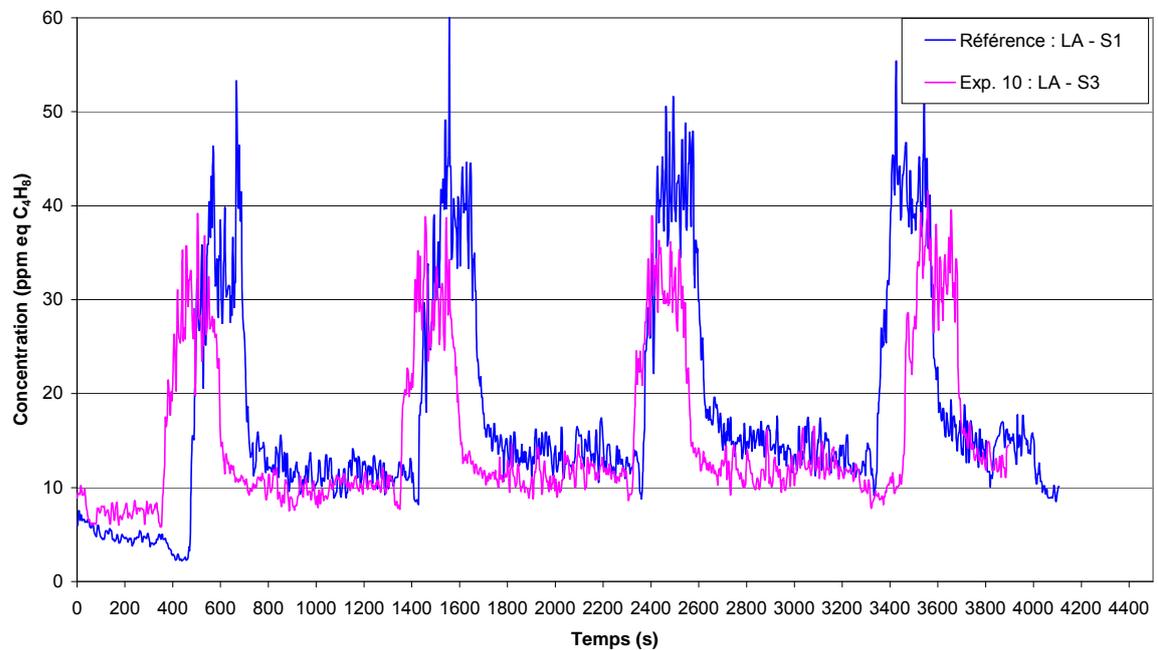
Graphique 19. Influence de la nature du papier



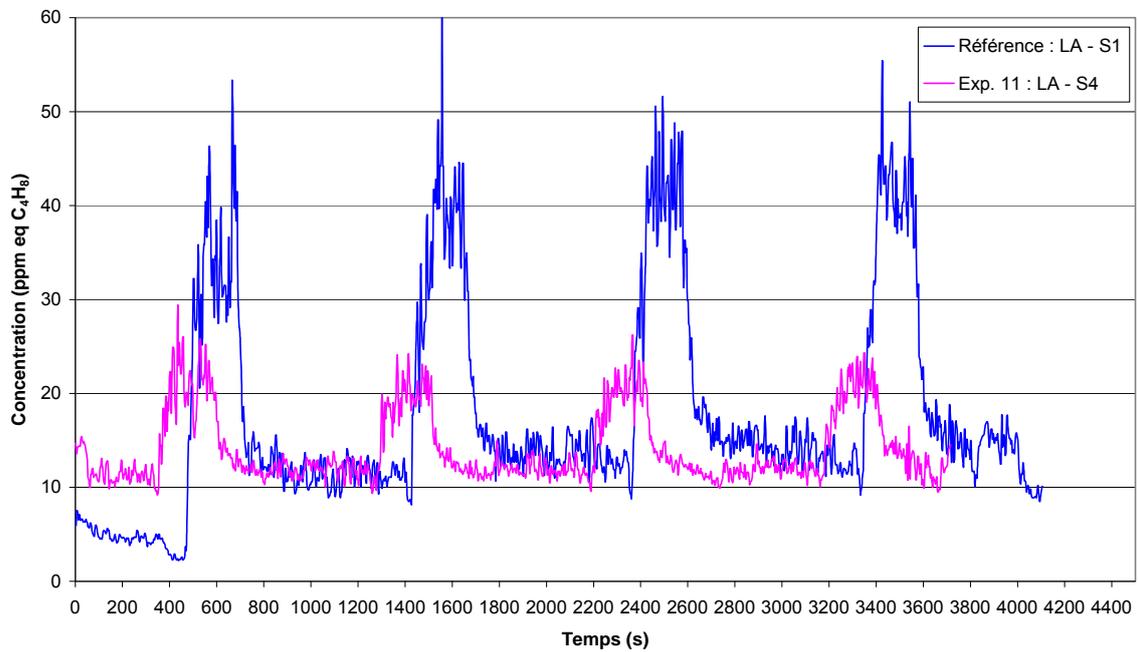
Graphique 20. Influence de la nature du blanchet



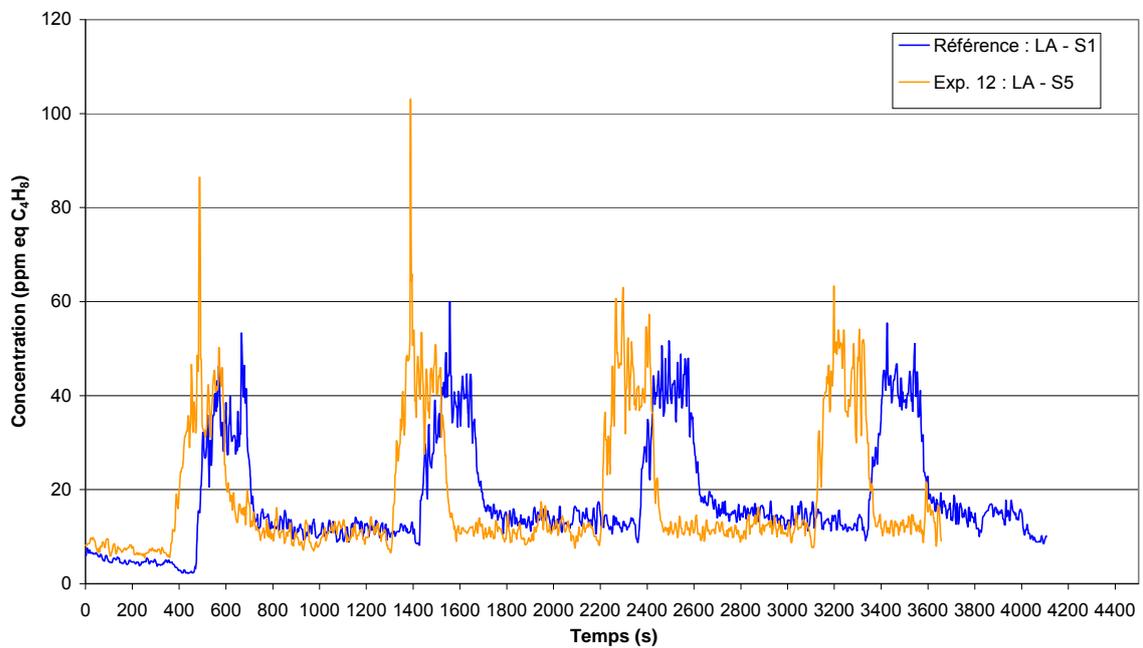
Graphique 21. Influence du solvant S2 lors du lavage automatique



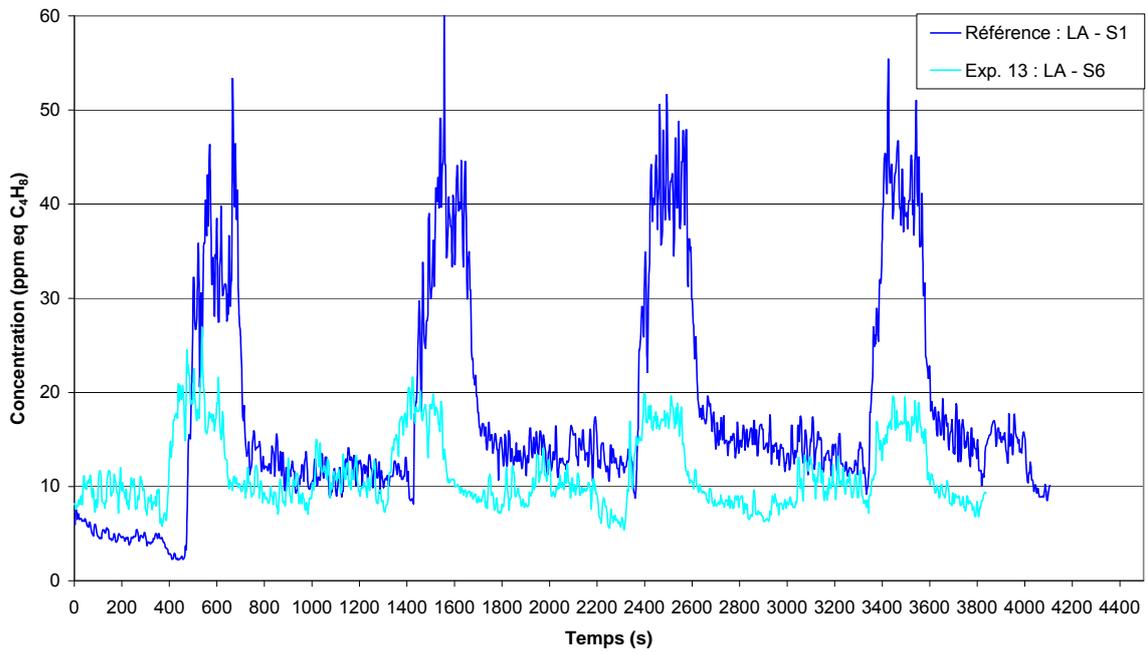
Graphique 22. Influence du solvant S3 lors du lavage automatique



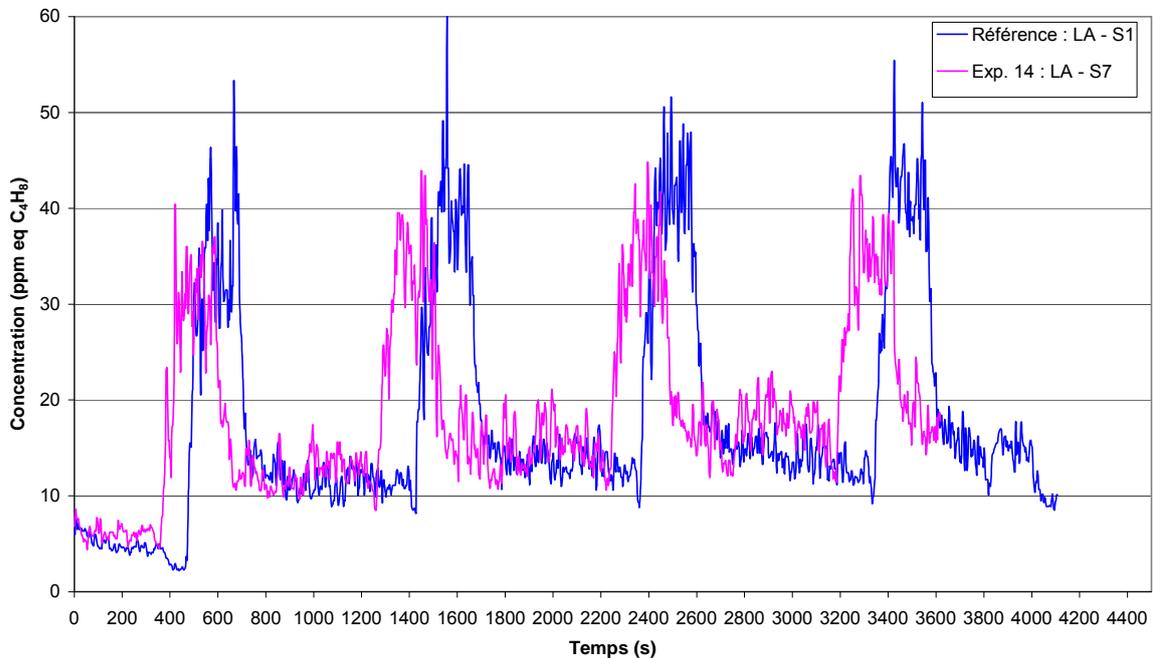
Graphique 23. Influence du solvant S4 lors du lavage automatique



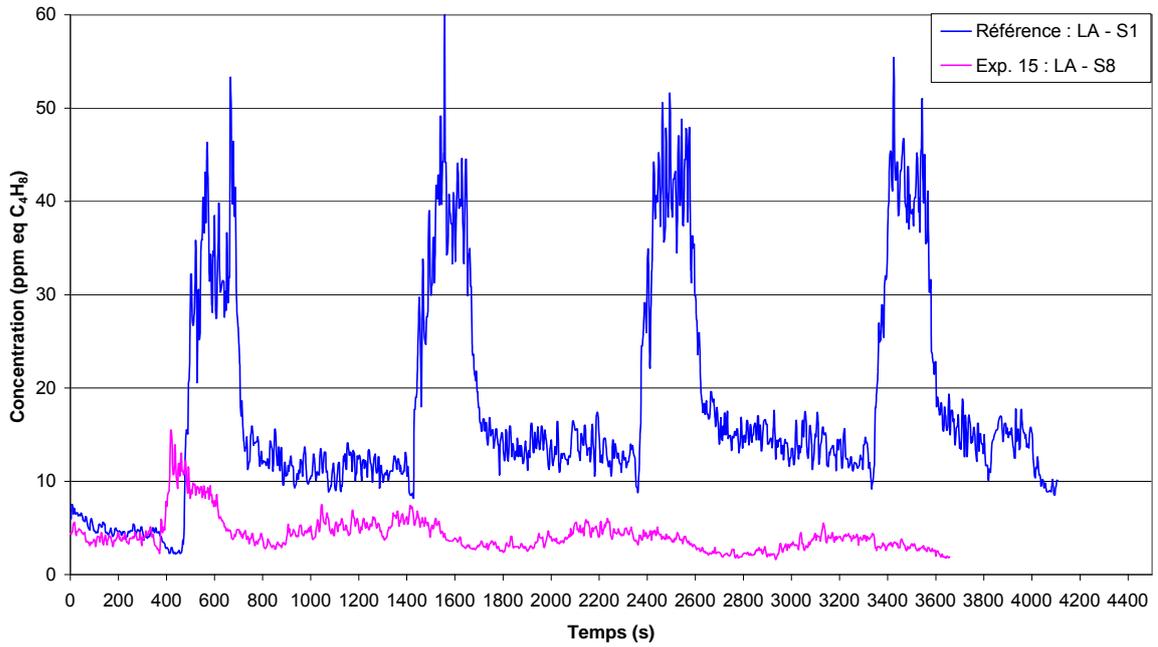
Graphique 24. Influence du solvant S5 lors du lavage automatique



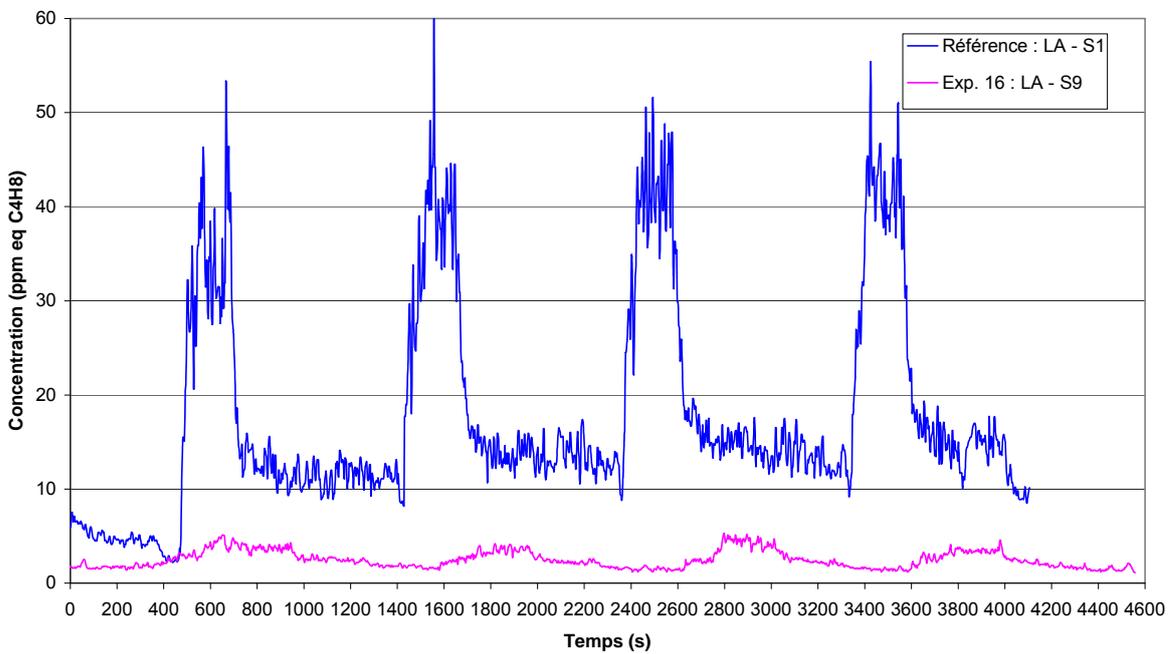
Graphique 25. Influence du solvant S6 lors du lavage automatique



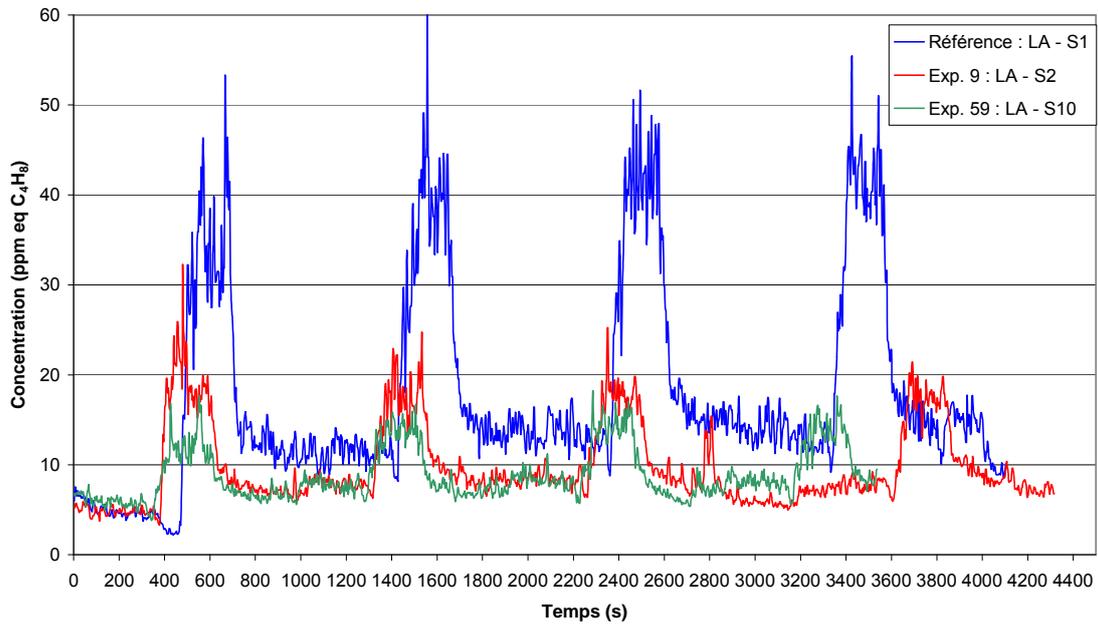
Graphique 26. Influence du solvant S7 lors du lavage automatique



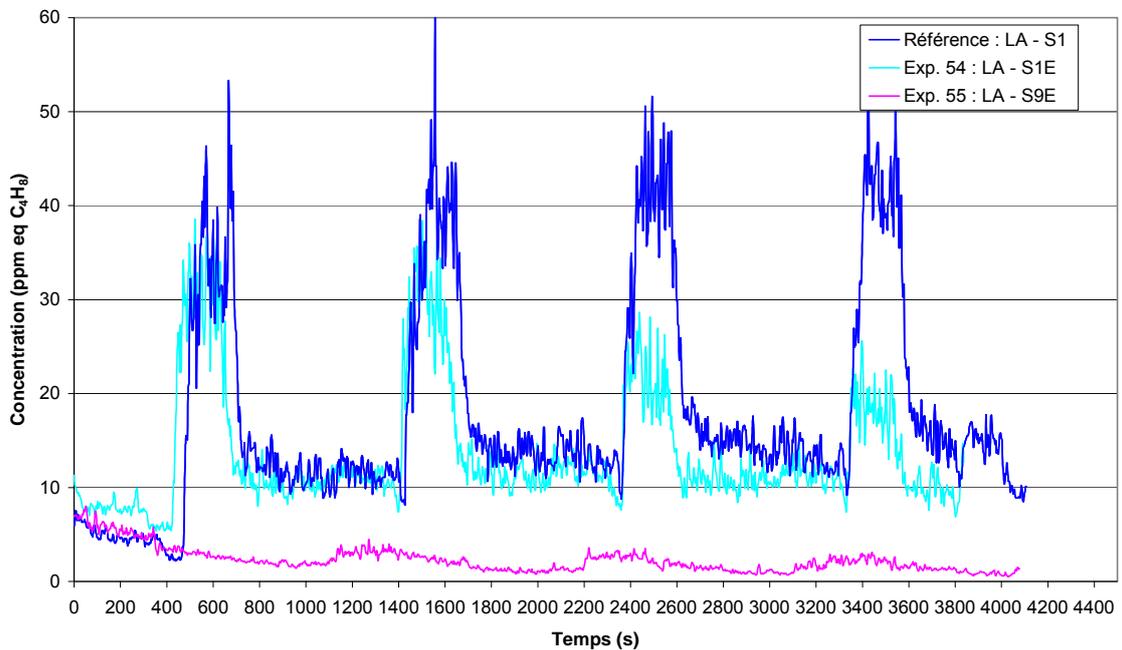
Graphique 27. Influence du solvant S8 lors du lavage automatique



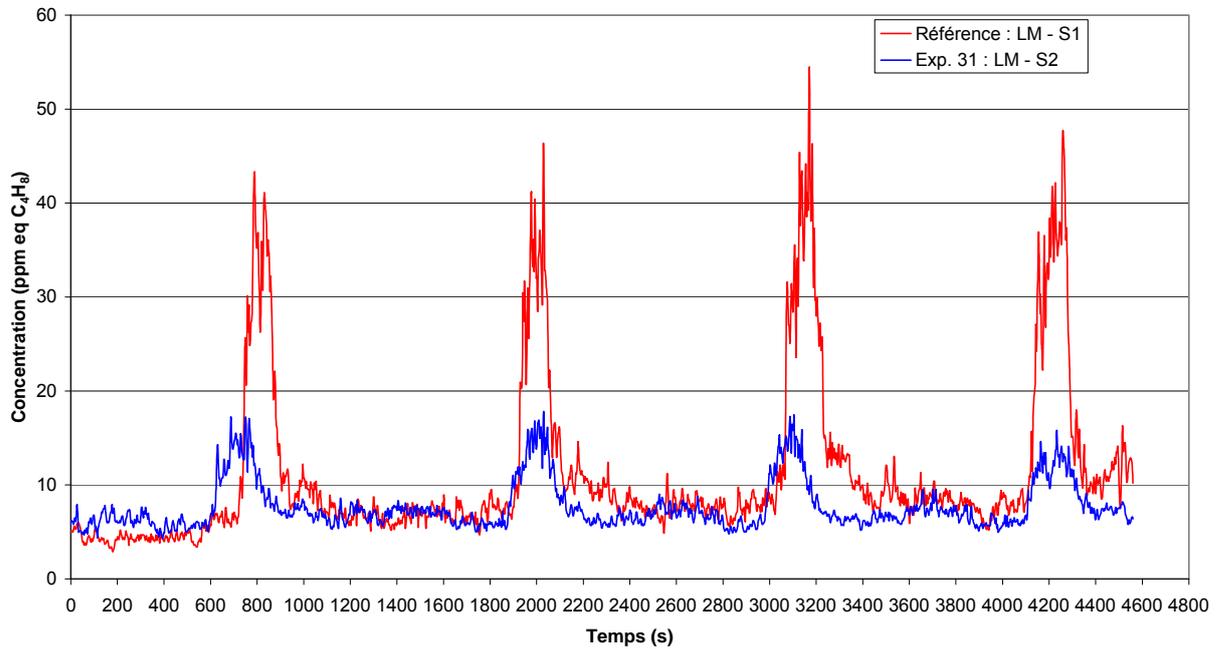
Graphique 28. Influence du solvant S9 lors du lavage automatique



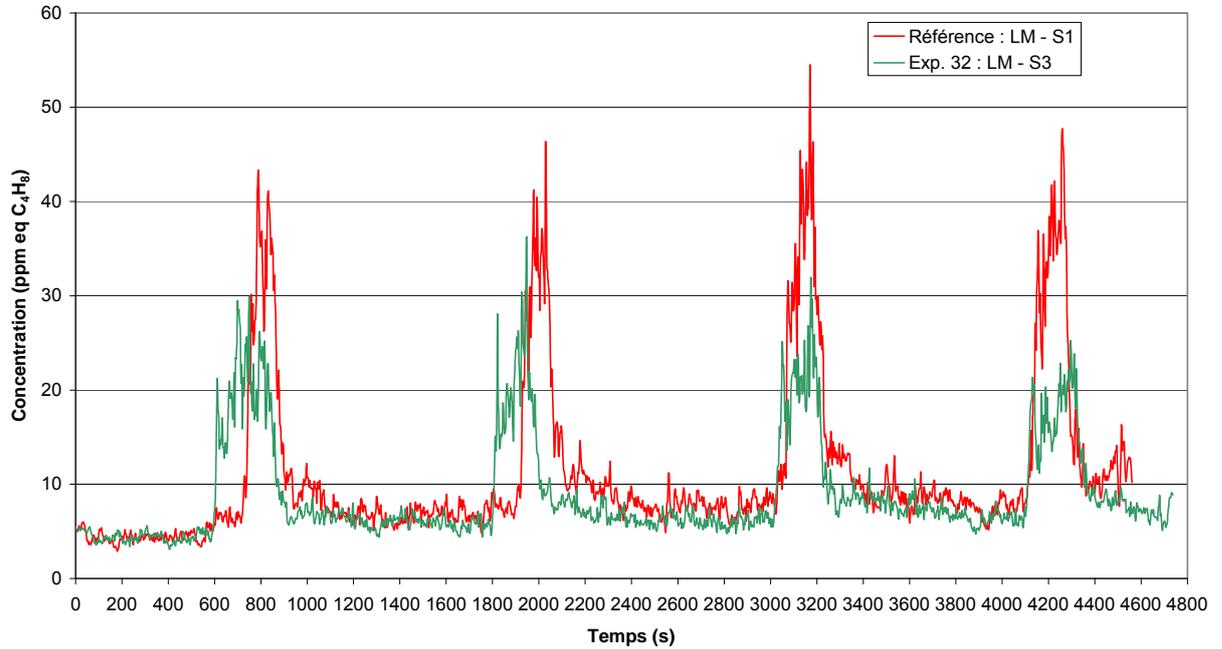
Graphique 29. Influence des solvants S2 et S10 lors du lavage automatique



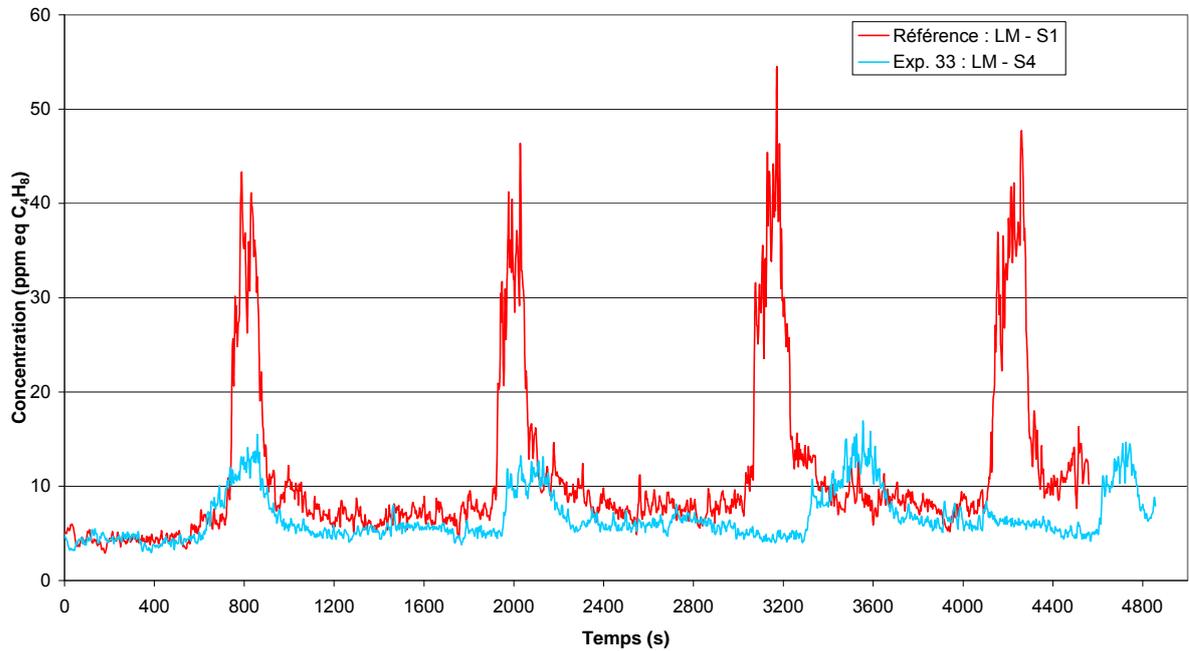
Graphique 30. Influence des solvants S1 et S9 dilués à 50 % avec de l'eau lors du lavage automatique



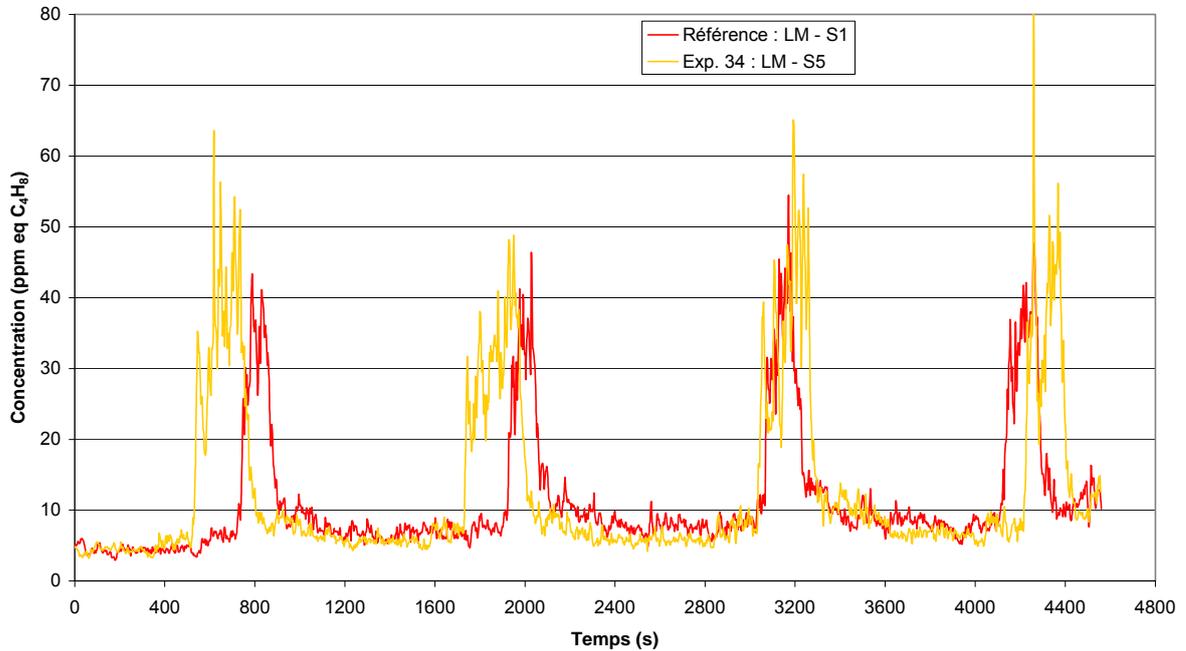
Graphique 31. Influence du solvant S2 lors du lavage manuel



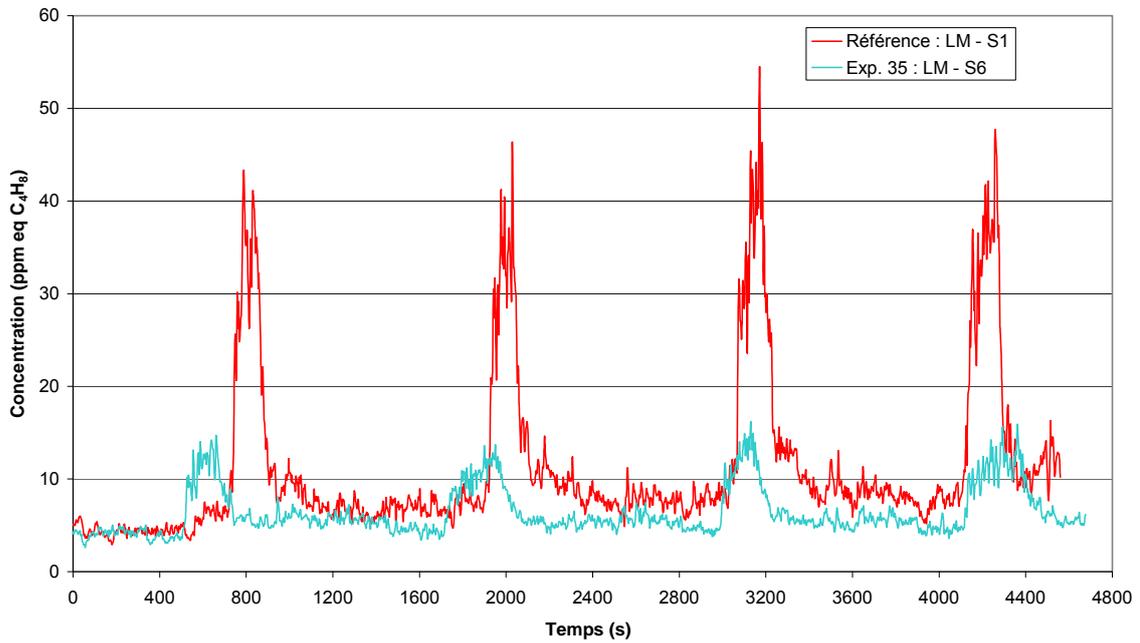
Graphique 32. Influence du solvant S3 lors du lavage manuel



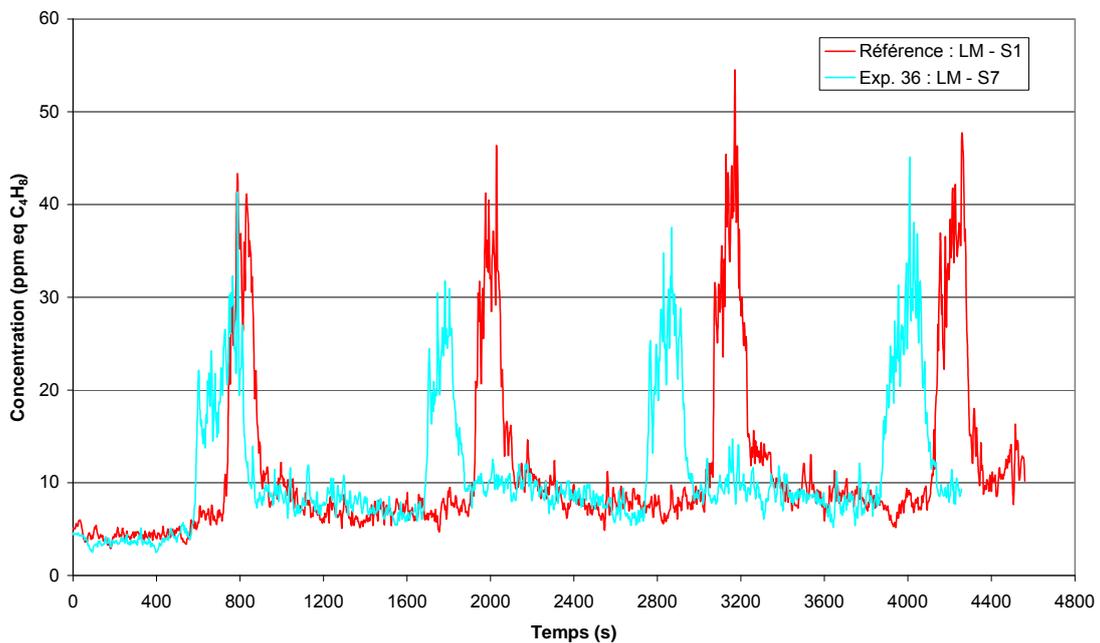
Graphique 33. Influence du solvant S4 lors du lavage manuel



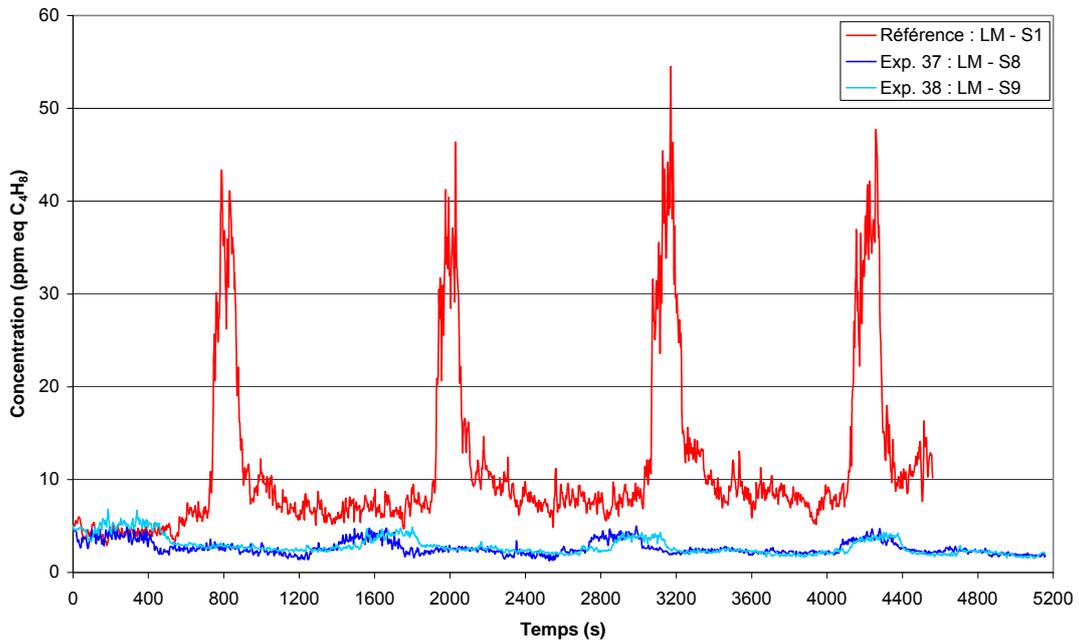
Graphique 34. Influence du solvant S5 lors du lavage manuel



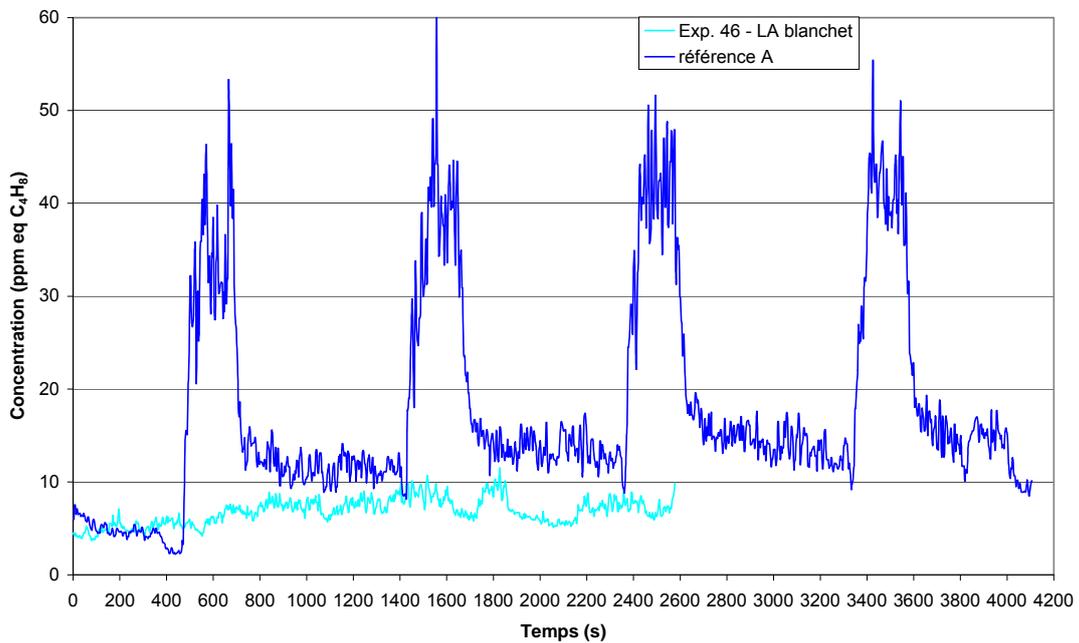
Graphique 35. Influence du solvant S6 lors du lavage manuel



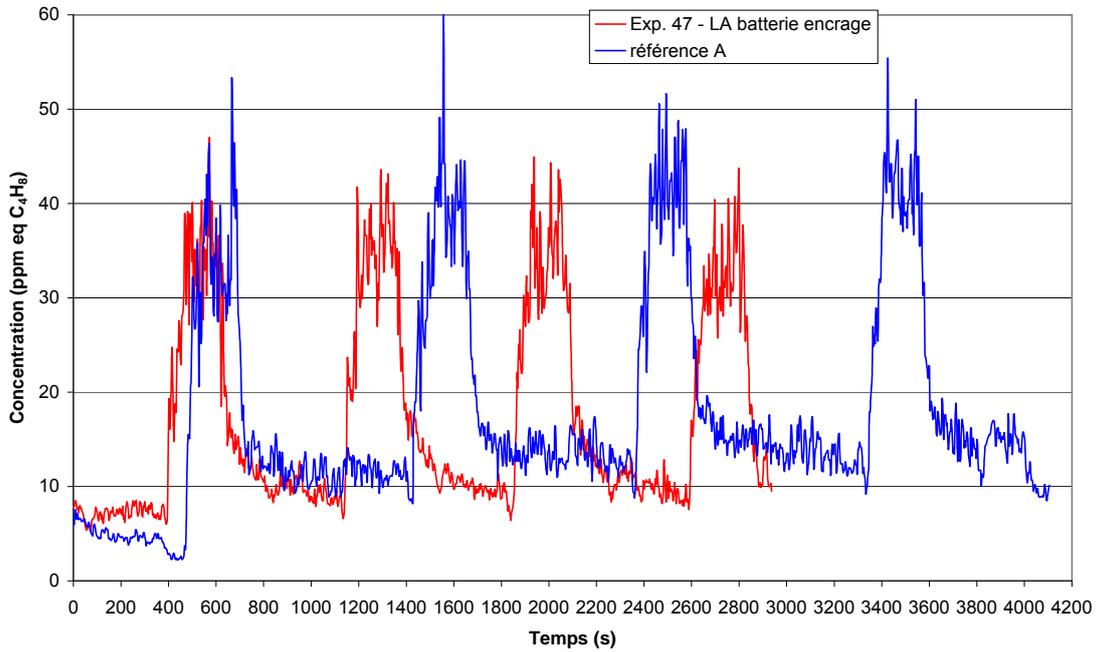
Graphique 36. Influence du solvant S7 lors du lavage manuel



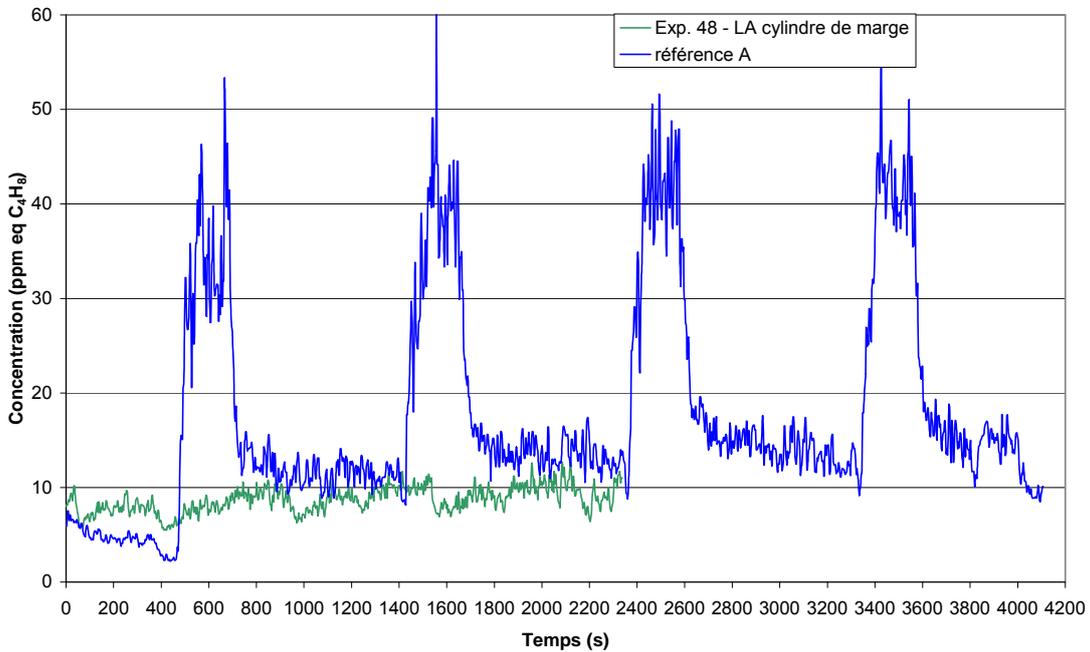
Graphique 37. Influence des solvants S8 et S9 lors du lavage manuel



Graphique 38. Influence du lavage automatique du blanchet



Graphique 39. Influence du lavage automatique de la batterie d'encre



Graphique 40. Influence du lavage automatique du cylindre de marge

ANNEXE 6

Débits d'émission d'alcool isopropylique et de COV totaux

Exp.	C _{IPA} (mg.m ⁻³)	C _{COVtotaux} (mg.m ⁻³ eqC)	q _{IPA} (mg.s ⁻¹)	q _{COVtotaux} (mg.s ⁻¹)	Paramètres
1	27,5	6,5	44,2	10,5	conducteur A
2	29,0	9,5	46,5	15,3	
3	30,6	8,8	49,1	14,2	
4	35,4	8,8	56,9	14,2	
60	19,3	4,2	31,1	6,8	
moy.	28,3	7,6	45,6	12,2	Référence A
22	27,0	4,5	43,3	7,2	Conducteur B
23	27,6	5,7	44,4	9,1	
24	28,5	8,6	45,7	13,8	
moy.	27,7	6,2	44,5	10,0	Référence B
19	14,3	3,7	23,0	5,9	1 groupe Encre Noire 1 (EN1)
20	15,0	4,0	24,2	6,5	1 groupe Encre Jaune 1 (EJ1)
27	17,8	5,2	28,5	8,4	encre indienne jaune (EJ5)
5	33,9	9,5	54,4	15,3	+ intense (densité d'encre)
28	34,9	6,2	56,1	10,0	+ intense (densité d'encre)
6	34,9	6,9	56,1	11,2	++ intense (densité d'encre)
25	29,8	7,0	47,9	11,3	EN2-EJ2
26	34,2	7,2	54,9	11,6	EN3-EJ3
27	17,8	5,2	28,5	8,4	1 groupe EJ5
53	14,0	5,7	22,5	9,1	EN4-EJ4
17	10,1	8,3	16,2	13,4	5 % IPA
21	37,4	4,9	60,1	7,9	15 % IPA
56	36,9	6,3	59,4	10,1	20 % IPA
57	30,5	4,3	49,0	6,9	20 % IPA
41	1,3	5,8	2,0	9,4	eau osmosée reminéralisée
42	18,9	6,5	30,4	10,5	Additif 2 (A2)
43	6,2	3,9	9,9	6,3	Additif 3-Réducteur d'Alcool 1 (A3-RA1)
44	2,2	5,6	3,5	9,0	A3-RA2
45	0,5	3,8	0,8	6,1	A3-RA3
50	0,2	5,0	0,3	8,0	Substitut d'Alcool 2 (SA2 - conducteur B)
52	-	9,1	0,0	14,6	SA2 - conducteur A
51	0,5	4,6	0,8	7,4	SA1 - conducteur B
61	-	4,0	0,0	6,4	SA3 - conducteur A
18	21,8	7,3	35,1	11,7	A - travail normal
39	27,6	10,5	44,4	16,8	B - travail sans respect des procédures
40	23,1	4,9	37,2	7,9	B - travail effectué selon procédures
8	36,2	0,0	58,2	0,0	impression seule
29	28,7	6,8	46,2	10,9	papier ouvert
49	15,9	6,0	25,5	9,6	nouveau blanchet

Débits d'émission d'alcool isopropylique et de COV totaux par facteur d'influence
Première configuration

Exp.	C_{IPA} ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	$C_{COV\text{totaux}}$ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ eqC)	q_{IPA} ($\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$)	$q_{COV\text{totaux}}$ ($\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$)	Paramètres
7	24,5	29,8	39,4	47,9	Lavage Automatique - Solvant 1 (LA - S1)
9	21,4	11,7	34,4	18,8	LA - S2
10	21,9	24,2	35,2	38,9	LA - S3
11	22,1	17,3	35,5	27,7	LA - S4
12	15,7	39,1	25,3	62,8	LA - S5
13	16,9	19,5	27,1	31,3	LA - S6
14	15,9	25,4	25,5	40,8	LA - S7
15	17,8	2,3	28,6	3,6	LA - S8
16	15,4	0,3	24,7	0,5	LA - S9
59	9,1	6,0	14,6	9,6	LA - S10
54	8,4	23,7	13,5	38,0	LA - S1/eau
55	7,6	2,2	12,2	3,5	LA - S9/eau
30	16,5	17,8	26,5	28,7	Lavage Manuel - Solvant 1 (LM - S1)
31	18,3	7,9	29,3	12,7	LM - S2
32	16,2	15,0	26,0	24,0	LM - S3
33	15,1	7,1	24,3	11,3	LM - S4
34	13,9	30,4	22,3	48,9	LM - S5
35	12,8	7,0	20,5	11,2	LM - S6
36	16,3	14,6	26,1	23,5	LM - S7
37	17,4	0,9	28,0	1,4	LM - S8
38	15,7	0,7	25,2	1,2	LM - S9
46	11,7	4,2	18,8	6,7	LA blanchet
47	12,1	28,0	19,5	45,0	LA batterie encrage
48	12,3	7,8	19,8	12,5	LA cylindre de marge
58	-	0,8	0,0	1,3	fontaine à solvant

Débits d'émission d'alcool isopropylique et de COV totaux par facteur d'influence
Seconde configuration