



ELEVEN-WEEK PROJECT  
Année Universitaire 2013-2014  
Session FMA 2014

EWP n° 2034

COMMANDITAIRE

**SAINT-GOBAIN Abrasives**

SUJET

**Optimisation de l'impact énergétique et environnemental d'un processus industriel  
de fabrication de matériels abrasifs.**

ELEVES INGENIEURS - DOMAINE

Lucie BODDAERT - OME  
Ashley DOWNER - WPI  
Emeline POMART - PCE

JURY DE SOUTENANCE

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Président de jury             | Claude TORREZ  |
| Représentants de l'entreprise | Stéphane GONZALEZ, Directeur de l'usine Saint-Gobain Abrasives<br>Alain BOUYRIE, Responsable Engineering |
| Professeur superviseur        | Alina GHINET   |

## RESUME

Le but du projet était de diminuer la consommation de gaz de l'oxydateur de l'usine Saint-Gobain Abrasives de Conflans-Sainte-Honorine. Les résines utilisées pour la fabrication des matières abrasives contiennent du phénol et du formol qui sont donc également présents dans les vapeurs rejetées lors de la fabrication. Ces vapeurs sont nuisibles pour l'environnement et doivent donc être brûlées. L'oxydateur (chargé de brûler ces vapeurs) utilise du gaz de ville (essentiellement composé de méthane) pour fonctionner. C'est cette consommation de gaz que nous avons cherché à diminuer. Le fonctionnement de l'oxydateur est réglementé par un arrêté préfectoral imposant la température de fonctionnement (800°C), le rendement (98 %), son fonctionnement lors de la production de matériaux abrasifs ainsi que les teneurs en COV à sa sortie. Une modification de l'arrêté préfectoral pourrait être l'occasion de modifier ces paramètres de fonctionnement : une série de tests pourrait déterminer la température à laquelle l'oxydateur resterait efficace tout en étant inférieure à la température actuelle, donc en consommant moins de gaz ; c'est pourquoi nous préconisons des tests à différentes températures. Nous préconisons aussi l'installation d'un analyseur d'air à la sortie de l'usine et de l'oxydateur afin de savoir si le taux de COV rejeté est supérieur à la limite donnée par l'arrêté préfectoral ou non. Dans certains cas, l'oxydateur n'est peut-être pas nécessaire. Une autre solution pourrait être de diminuer la quantité d'air envoyée à l'oxydateur, ainsi s'il y a moins d'air à traiter et que les COV sont plus concentrés, la consommation de gaz serait réduite. C'est grâce à un système de capots et rideaux isolants autour des machines que le débit d'air envoyé à l'oxydateur peut être diminué. Ce rapport contient un devis d'une telle installation adaptée à l'usine.

Toutes ces solutions sont détaillées dans le rapport, ainsi que notre démarche de recherche. Vous trouverez également des informations sur la fabrication d'abrasifs et sur les COV (phénol, formol).

# REMERCIEMENTS

---

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont aidés dans la réalisation de cet EWP (Eleven Week Project).

Tout d'abord nous tenons à remercier Monsieur GONZALEZ, directeur de l'usine Saint-Gobain Abrasives de Conflans-Sainte-Honorine, ainsi que Monsieur BOUYRIE, responsable engineering de l'usine. Ils nous ont fait confiance en nous proposant un projet important dans l'entreprise.

Ensuite, nous voulons remercier Monsieur Le CREN, notre contact dans l'entreprise EISENMANN. Monsieur Le CREN nous a rendu bien des services en nous éclairant notamment sur des aspects techniques et sur le fonctionnement de l'oxydateur.

Nous tenons également à remercier l'équipe encadrante d'HEI (Hautes Etudes d'Ingénieur) et de WPI (Worcester Polytechnic Institute) : Madame GHINET, notre project leader ; Monsieur TORREZ, responsable du domaine PCE (Procédé Chimie Environnement) ; Monsieur BIELA, responsable des relations avec les entreprises à l'international ; Monsieur YAGOOBI, professeur du WPI responsable de l'EWP.

Nous remercions aussi toutes les personnes contactées au cours de ce projet et qui nous ont apporté leur aide : les contacts dans les entreprises suivantes : Industrial Technology Oldham, Sinthylène, Techteam, ASCO Instruments ainsi que dans la mairie de Conflans-Sainte-Honorine, la Préfecture des Yvelines, la DRIEE Ile de France (La direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie).

# SOMMAIRE

---

|  |    |
|--|----|
| Remerciements .....  | 3  |
| Introduction .....   | 7  |
| Abréviations .....   | 8  |
| I. Présentation du projet.....   | 10 |
| A. Présentation de Saint-Gobain .....                                  | 10 |
| 1. Le groupe Saint-Gobain .....  | 10 |
| 2. Les produits fabriqués .....  | 13 |
| 3. Les concurrents .....   | 13 |
| B. Etat de l'art sur les abrasifs .....                                | 16 |
| 1. Principe de fabrication .....                                       | 16 |
| 2. Le support .....  | 19 |
| 3. Les liants utilisés .....   | 21 |
| 4. Les abrasifs utilisés .....   | 24 |
| II. La problématique .....   | 27 |
| A. Les émissions de phénol et de formol .....                          | 27 |
| 1. Aspect social .....   | 27 |
| 2. Impact environnemental .....  | 28 |
| 3. Impact financier .....  | 29 |
| B. Le phénol .....   | 30 |
| 1. Informations sur le phénol .....                                    | 30 |
| 2. Toxicité .....  | 33 |
| C. Le formol .....   | 38 |
| 1. L'utilisation du formol .....                                       | 38 |
| 2. La toxicité du formol .....   | 39 |
| D. La Législation .....  | 40 |
| 1. Le rejet de phénol dans la fabrication des matériaux abrasifs ..... | 40 |
| 2. La législation en Europe .....                                      | 40 |
| 3. La législation en France .....                                      | 41 |
| 4. La législation dans le département des Yvelines .....               | 43 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 5.   | Évolution de la législation à l'avenir.....              | 44 |
| III. | Théorie du process.....                                  | 45 |
| A.   | Présentation d'Eisenmann .....                           | 45 |
| B.   | Le fonctionnement de l'oxydateur (RTO) .....             | 46 |
| 1.   | Description du fonctionnement.....                       | 46 |
| 2.   | L'autothermie .....                                      | 48 |
| C.   | Théorie sur la combustion.....                           | 48 |
| IV.  | Pistes d'améliorations envisagées .....                  | 50 |
| A.   | Substitution des résines .....                           | 50 |
| B.   | Amélioration de la toile tissée.....                     | 51 |
| C.   | Optimisation du temps d'utilisation de l'oxydateur ..... | 52 |
| D.   | Optimisation de l'oxydateur.....                         | 52 |
| V.   | Solutions retenues.....                                  | 54 |
| A.   | Diminuer la température .....                            | 54 |
| B.   | Diminuer la dilution des COV .....                       | 55 |
| 1.   | Concentrer l'arrivée des COV dans l'oxydateur.....       | 55 |
| 2.   | Diminuer l'air aspiré inutilement.....                   | 57 |
| 3.   | Diminuer l'aspiration des ventilateurs .....             | 60 |
| 4.   | Evolution de la consommation de gaz .....                | 62 |
| C.   | Modifier la régulation de l'oxydateur .....              | 66 |
| VI.  | Préconisations .....                                     | 68 |
| A.   | Installation d'analyseurs d'air.....                     | 68 |
| B.   | Installation de capots.....                              | 68 |
| C.   | Procédure pour la fermeture des clapets .....            | 74 |
| D.   | Installation d'un nouvel automate .....                  | 75 |
|      | Conclusions .....  | 77 |
|      | Perspectives .....                                       | 78 |
|      | Bibliographie .....                                      | 79 |
|      | Annexes .....  | 85 |
|      | Annexe 1 : Planning prévisionnel .....                   | 86 |
|      | Annexe 2 : Note de clarification .....                   | 87 |
|      | Annexe 3 : Notes de confidentialité .....                | 89 |

|  |     |
|--|-----|
| Annexe 4 : Classification CMR .....  | 93  |
| Annexe 5 : FDS Phénol .....  | 94  |
| Annexe 6 : FDS Formol.....   | 102 |
| Annexe 7 : Extrait de l'arrêté préfectoral N°04-176 Préfecture des Yvelines.....       | 112 |
| Annexe 8 : Spécifications techniques de l'oxydateur Eisenmann .....                    | 113 |
| Annexe 9 : Extrait du rapport de mesures des émissions atmosphériques de Veritas ..... | 114 |
| Annexe 10 : Tarifs de location de Oldham .....   | 116 |
| Annexe 11 : Relevé de gaz de 1999 .....  | 117 |
| Annexe 12 : Extrait des spécifications techniques du variateur de fréquence .....      | 118 |
| Annexe 13 : Devis de Eisenmann pour l'automate .....                                   | 121 |
| Annexe 14 : Devis 1 de Sinthylène .....  | 133 |
| Annexe 15 : Devis 2 de Sinthylène .....  | 134 |
| Annexe 16 : Schémas des vues des machines de la LAT .....                              | 137 |

# INTRODUCTION

---

Dans le cadre de notre formation académique à HEI et à WPI, nous avons à effectuer un EWP (Eleven Week Project). L'EWP est une période de onze semaines où un groupe d'étudiants fait un travail d'expertise pour l'entreprise, faisant ainsi appel à toutes nos compétences acquises lors de nos études : compétences techniques, en recherche, en management...

Notre équipe, pilotée par notre project leader Madame GHINET, a travaillé sur un projet d'optimisation d'un outil industriel pour l'entreprise Saint-Gobain Abrasives dont l'usine se situe dans les Yvelines. Le sujet de notre EWP est l'optimisation de l'impact énergétique et environnemental d'un processus industriel de fabrication de matériaux abrasifs. Plus précisément, nous devons faire des propositions afin qu'un outil industriel (l'oxydateur) utilisé au cours de la fabrication des matériaux abrasifs réduise sa consommation de gaz.

Le coût de la consommation annuelle en gaz de l'oxydateur est estimé à 250 000 €. L'entreprise souhaite faire des économies importantes sur ce poste générant de grosses dépenses. Au cours de ces onze semaines, nous avons pu découvrir le projet, nous renseigner sur la fabrication de matériaux abrasifs, sur le fonctionnement de l'oxydateur, sur le processus de combustion des COV, sur les solutions techniques existantes pour pouvoir proposer à Saint-Gobain des préconisations pour la réussite de leur projet. Vous trouverez dans ce rapport notre travail concernant cet EWP.

Dans une première partie, vous trouverez une présentation du projet, de Saint-Gobain, des matières abrasives et de leur fabrication. En deuxième partie, la problématique : pourquoi est-ce nécessaire de brûler les vapeurs émises lors de la fabrication de matériaux abrasifs ? En troisième partie la théorie du procédé de brûlage des vapeurs de fabrication par l'oxydateur. Ensuite, en quatrième partie les pistes d'amélioration envisagées qu'elles aient été retenues ou non. Puis en cinquième partie le détail des solutions retenues. Et enfin, en sixième partie nos préconisations.

Pour ce projet, nous avons réparti notre travail sur la durée des onze semaines qui nous étaient imparties, comme vous pouvez le voir en annexe 1 : notre planning prévisionnel.

# ABREVIATIONS

---

Voici ci dessous la liste des abréviations utilisées tout au long de ce dossier.

- CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer
- COV : Composé Organique Volatil
- CMR : Cancérogène, Mutagène et Reprotoxique
- DMF : Diméthylformamide
- dt : élévation de température typique de l'oxydateur
- DRIEE : Direction Régionale Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie
- EWP : Eleven Week Project
- FDS : Fiche Données de Sécurité
- g.L<sup>-1</sup> : gramme(s) par Litre
- HEI : Hautes Etudes d'Ingénieur
- INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité
- kg/m<sup>3</sup> : kilogramme par mètre cube
- kJ : kiloJoule
- kJ/mol : kilo Joule par mole
- kPa : kilo Pascal
- kWh : kilo Watt heure
- LAT : Ligne d'Apprêtage de Toile
- LIE : Limite Inférieure d'Explosibilité
- m<sup>3</sup>/h : mètre cube par heure
- mol : mole
- MWh : Mega Watt heure
- Nm<sup>3</sup> : normal mètre cube
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- PAH : Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (ie : hydrocarbures aromatiques polycycliques)
- PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur
- Q<sub>air</sub> : débit volumique d'air
- RTO : Regenerative Thermal Oxidation
- s : solubilité

- SMIC : Salaire Mensuel Interprofessionnel de Croissance
- T : température
- Te : température d'ébullition
- Tf : température de fusion
- VLEP : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle
- VME : Valeur Moyenne d'Exposition
- WAF : Water Accommodated Fraction (ie : fractions accommodées à l'eau)
- WPI : Worcester Polytechnic Institute

# I. PRESENTATION DU PROJET

---

## A. PRESENTATION DE SAINT-GOBAIN <sup>1</sup>

### 1. *Le groupe Saint-Gobain*

Saint-Gobain est une entreprise française fondée en 1665 par Jean-Baptiste Colbert sous le nom de Manufacture royale des glaces. Saint-Gobain produit, transforme et distribue des matériaux.

Saint-Gobain est organisé en quatre pôles d'activités :

- le Pôle Matériaux Innovants (Matériaux Haute Performance et Vitrage)
- le Pôle Produits pour la Construction
- le Pôle Distribution Bâtiment
- le Pôle Conditionnement

Le groupe Saint-Gobain est présent dans 64 pays et compte plus de 190 000 salariés. Son logo est connu partout à travers le monde (voir figure 1 le logo de Saint-Gobain).



*Figure 1 : Logo du groupe Saint-Gobain*

Notre EWP concerne la filiale de Saint-Gobain fabriquant des matériaux abrasifs : Saint-Gobain Abrasives.

---

<sup>1</sup> <http://www.saint-gobain-abrasives.com/>, consulté le 10/02/2014

Voici le logo de la filiale abrasifs : voir en figure 2.



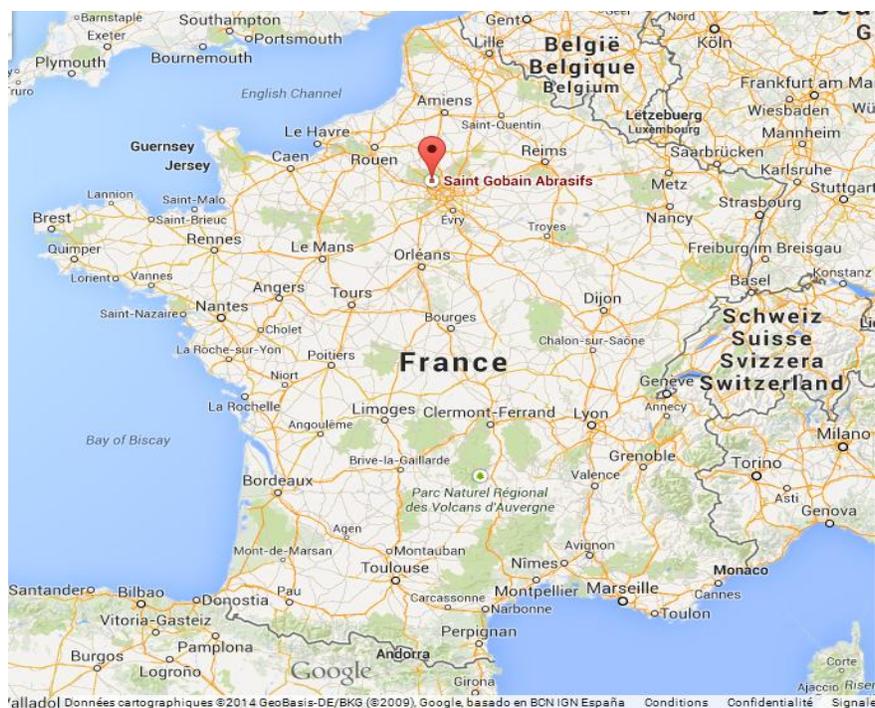
**Figure 2 : Logo de Saint-Gobain Abrasives**

L'entreprise Saint-Gobain Abrasives (qui fait partie du pôle matériaux innovants) est un leader mondial des abrasifs. Saint-Gobain Abrasives est le seul fabricant mondial des trois principaux types d'abrasifs.

Les trois types sont :

- *les abrasifs agglomérés* : grains naturels ou synthétiques mis en œuvre en meules de différentes formes.
- *les abrasifs appliqués* : abrasifs fabriqués par enduction de grains abrasifs naturels ou synthétiques sur un support flexible. Celui-ci est alors découpé en différentes formes.
- *les produits diamants* : abrasifs produits à base de matériaux les plus durs qui soient : diamant ou nitrure de bore cubique. Ils sont utilisés pour façonner les matériaux trop durs ou trop fragiles pour les abrasifs conventionnels.

Notre projet concerne l'usine de Conflans-Sainte-Honorine dans les Yvelines se situant à l'adresse suivante : Rue Ambassadeur, 78 700 Conflans-Sainte-Honorine.



**Figure 3 : Localisation de l'usine de Conflans-Sainte-Honorine<sup>2</sup>**

Nous nous sommes rendues à l'usine le 12 février pour le rendez-vous de début de projet. Nous y avons rencontré Monsieur GONZALEZ, directeur de l'usine et Monsieur BOUYRIE, directeur technique du site. Nous étions accompagnées de nos référents d'HEI : Madame GHINET, Monsieur BIELA et Monsieur TORREZ.

Suite à un entretien où a été posée la problématique, nous avons visité pour la première fois l'usine.

De retour à Lille, nous avons alors rédigé la note de clarification (voir annexe 2) qui précise le contexte du projet, les documents d'entrée, l'objet et les objectifs du projet, les parties prenantes, les contraintes et une évaluation des risques liés à ce projet.

Nous avons également complété et signé chacune une note de confidentialité (voir annexe 3) qui assure au commanditaire la non divulgation d'informations concernant le projet.

Notre deuxième visite a eu lieu le 1<sup>er</sup> avril. Ce fut l'occasion pour nous d'approfondir nos

<sup>2</sup><https://www.google.fr/maps/place/Conflans-Sainte-Honorine/@47.3310922,2.9560791,6z/data=!4m2!3m1!1s0x47e68a9871beeb7b:0x40b82c3688c41b0>, consulté le 05/03/2014

connaissances sur le processus de fabrication et le fonctionnement de l'oxydateur. Nous avons également pu visiter une deuxième fois l'usine ; ce qui nous a permis de prendre des photos et de relever les mesures nécessaires à notre projet.

## ***2. Les produits fabriqués***

L'usine Saint-Gobain Abrasives fabrique des produits abrasifs destinés aux applications industrielles, par exemple l'usinage et le traitement de surfaces. Aussi, elle fabrique également des produits pour les particuliers, par exemple les travaux de bricolage. Les produits abrasifs sont fabriqués essentiellement à partir de supports textiles, résines, liants et matières premières abrasives.

## ***3. Les concurrents***

Il y a plusieurs concurrents sur le marché des abrasifs. Les principaux sont :

↳ **Sia Abrasives**<sup>3</sup>



***Figure 4 : Logo de la marque Sia Abrasives***

Sia Abrasives est l'un des principaux fabricants mondiaux d'abrasifs. Le siège de la société est à Frauenfeld en Suisse. Elle met au point, fabrique et commercialise des systèmes de ponçage adaptés aux besoins et demandes spécifiques.

---

<sup>3</sup> <http://www.sia-abrasives.com/>, consulté le 20/02/2014

Grâce à ses propres sociétés ou à des représentants dans plus de 80 pays, Sia Abrasives maintient un contact direct avec les clients industriels et commerciaux.

La société fait partie du groupe Bosch depuis 2008.

Dans la division de Bosch Power Tools, Sia Abrasives est le spécialiste en enduits colles, non-tissés et abrasifs.

 **3M**<sup>4,5</sup>



*Figure 5 : Logo du groupe 3M*

3M est une société américaine créée en 1920. Appelée Minnesota Mining and Manufacturing Company jusqu'en 2002, la société 3M conçoit et fabrique des produits et des solutions qui sont destinés à cinq grands marchés :

- Grand public : papeterie (avec notamment, les marques post-it, scotch), bricolage et bâtiment, entretien ménager (Scotch-Brite...), bien-être.
- Electronique & Energie : électrique, télécommunication, électronique, système optique, systèmes de protections.
- Santé : prévention des infections, solutions pour soins chroniques, sécurité alimentaire.
- Industrie : traitement de surface, assemblage, emballage...
- Sécurité & Signalétique : solution pour la protection individuelle, communication graphique, protection et hygiène professionnelles, plaques et solutions de sécurité...

---

<sup>4</sup> [http://solutions.3mfrance.fr/wps/portal/3M/fr\\_FR/AbrasiveSystems/-/](http://solutions.3mfrance.fr/wps/portal/3M/fr_FR/AbrasiveSystems/-/), consulté le 20/02/2014

<sup>5</sup> <https://fr.wikipedia.org/wiki/3M> consulté le 20/02/2014

↳ **GE (General Electric)** <sup>6,7</sup>



**Figure 6 : Logo de General Electric**

GE est une entreprise américaine fondée en 1892. Les activités de GE sont vastes et se répartissent en 5 branches :

- GE Energy Infrastructure : transport et distribution d'électricité, centrales thermiques,...
- GE Technology Infrastructure : réacteurs d'avions, équipements médicaux,...
- E Capital : services financiers aux particuliers et aux entreprises tels que l'immobilier, le leasing,...
- GE Consumer & Industrial : matériel d'éclairage, silicones, abrasifs (super-abrasifs sous la marque Sandvik), appareils électroménagers,...
- NBC (National Broadcasting Company) Universal : GE est cofondateur de la chaîne de télévision NBC.

Les concurrents de Saint-Gobain sur le marché des abrasifs sont généralement de grands groupes mondiaux ayant de nombreuses activités diverses et variées en plus de la fabrication d'abrasifs.

---

<sup>6</sup> <http://www.diamondinnovations.com/en/Pages/home.aspx>, consulté le 20/02/2014

<sup>7</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/General\\_Electric](https://fr.wikipedia.org/wiki/General_Electric), consulté le 20/02/2014

## B. ETAT DE L'ART SUR LES ABRASIFS

### 1. Principe de fabrication <sup>8,9</sup>

Pour fabriquer un abrasif, on utilise une bobine de support qui peut être soit du papier, soit du tissu. D'autres types de supports peuvent également être utilisés. Cette bobine est alors déroulée de façon à ce qu'il n'y ait aucun pli pour la suite du process (voir figure 7).



**Figure 7 : Déroulement des bobines de support**

Une fois la bobine déroulée, on imprime au dos du produit ses caractéristiques (granulométrie,...).

Puis, on applique une première couche de liant (premier encollage) qui va être ensuite séchée dans un premier four. Un liant est un composé qui va permettre de lier des éléments entre eux, et notamment les grains d'abrasifs. Ces étapes de préparation se déroulent sur la Ligne

---

<sup>8</sup> Présentation d'Antoine David, réalisée en septembre 2012, fournie par Saint-Gobain Abrasif

<sup>9</sup> Jean-Louis Douzet, Abrasifs, *Techniques de l'ingénieur*, publié le 10/08/1990

d'Apprêtage de Toile (LAT).



**Figure 8 : Vue globale de la LAT**

Lors de l'application de la couche de liant, les opérateurs doivent surveiller la viscosité du mélange ainsi que la température de celui-ci grâce à un écran placé sur la LAT (voir figure 9).



**Figure 9 : Ecran de surveillance de la viscosité et de la température du liant**

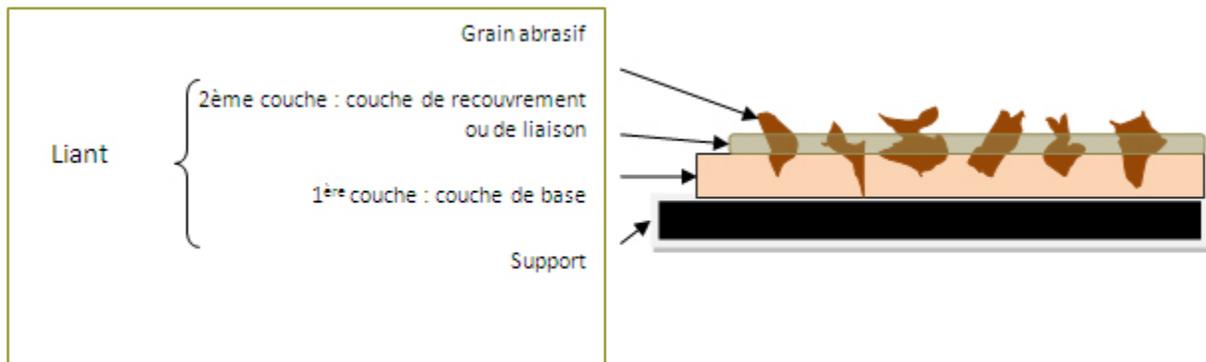
Une fois la toile préparée, elle va vers le *Maker*. Cette machine va permettre d'appliquer les grains d'abrasif sur la toile ainsi que la deuxième couche de liant (deuxième encollage) qui va être elle aussi séchée dans un deuxième four. Le grain d'abrasif peut être déposé soit par gravité ou soit par pose électrostatique, c'est-à-dire que le grain va être appliqué dans un

champ électrique qui va permettre d'orienter le grain d'abrasif dans la direction souhaitée.



**Figure 10 : Le Maker**

On obtient alors un produit ayant la structure de celle de la figure 11.



**Figure 11 : Structure des abrasifs <sup>10</sup>**

Le produit obtenu est alors de nouveau enroulé sous forme de bobines appelées jumbos.

<sup>10</sup> <http://outillage.otelo.fr/documents/les-abrasifs-appliques/36.html>, consulté le 14/02/2014

# LIGNE DE FABRICATION

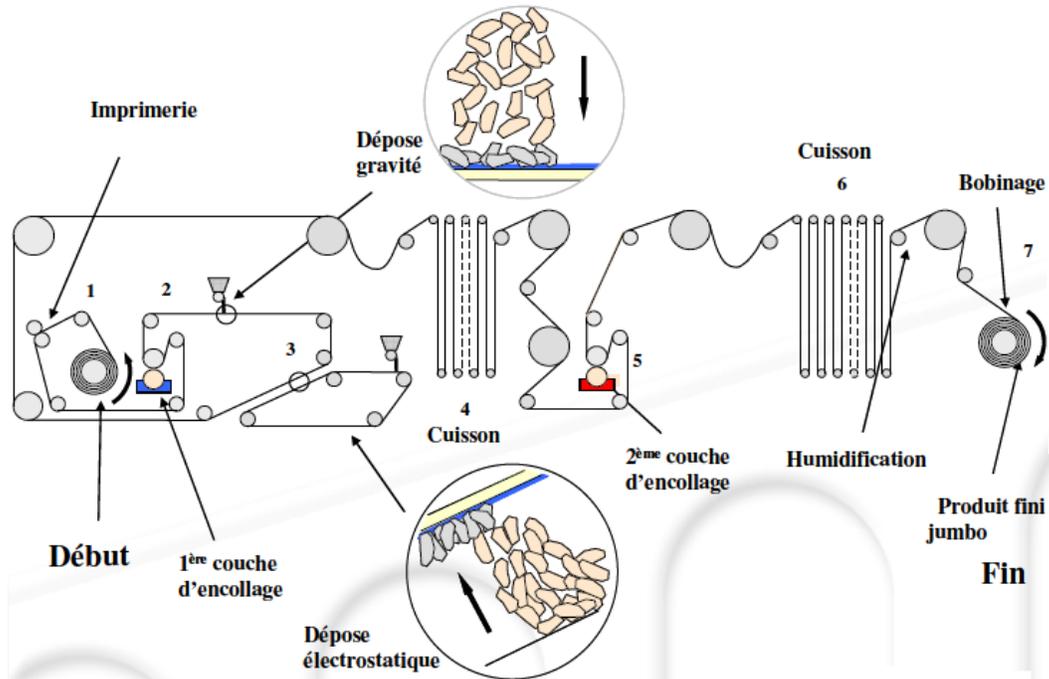


Figure 12 : Schéma récapitulatif de la ligne de fabrication

## 2. Le support

Qu'il soit fait de papier, de tissu, de fibres vulcanisées ou de polyester, le support doit être suffisamment lisse pour obtenir un revêtement adhésif uniforme, suffisamment résistant pour supporter la pression et suffisamment souple pour s'adapter le cas échéant aux formes complexes.

### Papier

Les grammages de papier standards utilisés dans les abrasifs appliqués sont indiqués par un code de lettres inscrit juste à côté de la granulométrie sur le support du produit fini. De manière générale, on peut dire que plus le support est léger, plus il est souple et que, plus il est fort, mieux il résiste à la déchirure.

Grammage A (70 g) : léger et flexible.

Grammage C (120 g) : plus résistant et moins souple que le grammage A.

Grammage D (150 g) : utilisé pour le ponçage grossier à intermédiaire.

Grammage E (220 g) : plus résistant et moins souple que le grammage D. Ce support est surtout employé sur les rouleaux, les bandes et les disques qui nécessitent une grande résistance à la déchirure.

Grammage F (300 g) : le plus solide et le moins souple des supports papier.

### *Toile*

Les supports en toile sont plus durables que ceux en papier. Ils présentent une meilleure résistance à la déchirure et tolèrent les efforts de torsion et de flexion subis au cours d'utilisations. Les grammages de supports toile standards utilisés dans les abrasifs appliqués sont indiqués par un code de lettres inscrit juste à côté de la granulométrie sur le support du produit fini.

Grammage J : le plus léger et le plus souple des supports toile.

Grammage X : plus solide et relativement rigide par rapport au grammage J, les produits à gros grain conviennent parfaitement aux applications d'enlèvement de matière.

Grammage Y : le support de grammage Y s'utilise sur des produits conçus pour les applications difficiles.

### *Fibre*

Les supports fibreux, fabriqués à partir de plusieurs couches de papier vulcanisé, sont extrêmement durs et résistants tout en garantissant suffisamment de souplesse. Le support fibreux d'une épaisseur de 0,8 mm est le support le plus résistant utilisé pour les abrasifs appliqués.

### *Combinaison*

Les supports combinés sont obtenus par laminage d'une toile légère et d'un papier rigide de grammage E. Ces supports s'utilisent lorsque la résistance à la déchirure et à la cassure est une exigence.

### *Film*

Le polyester est utilisé comme matériau de support dans la gamme de produits de microfinition et de précision. Les supports film s'utilisent sous arrosage ou à sec et présentent une excellente

résistance aux produits chimiques, tout en étant résistants à la déchirure et durables.

Lors de nos visites chez Saint-Gobain Abrasives de Conflans-Sainte-Honorine, nous avons appris qu'ils utilisent des supports papier, de la toile qui peut être soit du coton soit du polyester mais également une combinaison de papier et de toile polyester.

### **3. Les liants utilisés**<sup>11</sup>

#### **a. Liant céramique "V"**<sup>12</sup>

Les liants céramiques peuvent être d'origine naturelle (argile, kaolin, feldspath) ou artificielle (frites de verre). Majoritairement, ils sont constitués en proportion variable de feldspath, d'argile et de silice.

A partir de ces constituants de base, les fabricants ont élaboré une grande variété d'agglomérats en fonction des opérations à réaliser (affûtage, rodage, rectification,...) et des contraintes liées à ces opérations (échauffement,...).<sup>13</sup>

Chimiquement stables, ils ne sont attaqués ni par l'eau ni par les agents de lubrification ou de refroidissement. Seuls quelques acides (borique ou fluorhydrique) peuvent les altérer. Ils résistent bien à la force centrifuge mais leurs faibles modules d'élasticité et conductivités thermiques les rendent sensibles aux chocs mécaniques et thermiques (résistance thermique comprise entre 600 et 700°C). Grâce à ces propriétés, ils peuvent être stockés sans limite dans le temps.

Un avantage des liants céramiques est la possibilité de contrôler la porosité de la couche abrasive durant la fabrication, ce qu'aucun autre liant ne permet de faire dans une telle mesure.

---

<sup>11</sup> <http://www.elbe-abrasives.com/fr/produits/meules-traditionnelles/types-de-liant.html> , consulté le 03/03/2014

<sup>12</sup> [http://www.diametal.ch/index.php?option=com\\_content&view=article&id=18&Itemid=17&lang=fr](http://www.diametal.ch/index.php?option=com_content&view=article&id=18&Itemid=17&lang=fr), consulté le 04/04/2014

<sup>13</sup> Jean-Louis Douzet, *Abrasifs, Techniques de l'ingénieur*, publié le 10/08/1990

## **b. Liant résinoïde "B"**

Les liants résinoïdes sont des résines de synthèse, généralement à base de phénol et de formol. Une fois polymérisées, elles constituent des agglomérats très résistants à la force centrifuge, avec des modules d'élasticité et conductivités thermiques supérieurs à ceux des agglomérats vitrifiés.<sup>14</sup> De ce fait, ces liants sont peu sensibles aux impacts mais l'exposition aux produits chimiques doit être évitée (réduction de la résistance mécanique).

En raison de leur grande résistance, les liants résinoïdes sont utilisés préférentiellement en cas de vitesse périphérique élevée ou dans des opérations avec gros enlèvement de matière : ébarbage, tronçonnage ou encore dans des opérations avec tenue d'angle : rectification en plongée de cames, de filetages,...

Les résines utilisées à l'usine de Conflans-Sainte-Honorine sont soit des résines contenant du phénol ou des résines composées d'urée et de formol.

### *La résine phénolique*<sup>15</sup>

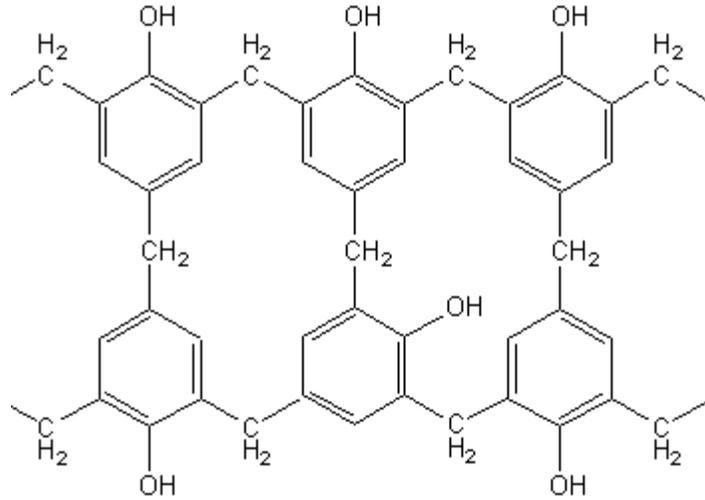
Les résines phénoplastes résultent de la polycondensation d'un phénol et d'un aldéhyde. Leur élaboration comporte trois stades: A, B et C. Dans le stade A, les composés sont à l'état fluide alors qu'ils deviennent pâteux à chaud dans l'état B. Pour obtenir des résines dures et infusibles (état C), les résines doivent être mélangées à des charges (poudre de bois, silice,...) puis elles sont chauffées et comprimées.

Un exemple typique des résines phénoplastes est la bakélite (voir figure 13) dont le nom vient de son inventeur L.H. Baekeland, 1863-1944, chimiste belge puis américain.

---

<sup>14</sup> Jean-Louis Douzet, *Abrasifs, Techniques de l'ingénieur*, publié le 10/08/1990

<sup>15</sup> <http://webpeda.ac-montpellier.fr/wspc/ABCDORGA/Famille/Polymere.htm#urée-formol>, consulté le 28/03/2014

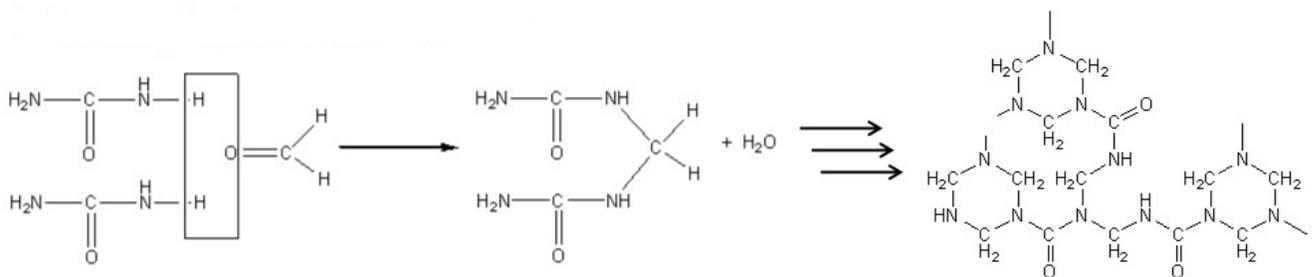


**Figure 13 : Structure de la bakélite**

On obtient des matières dures (plastiques thermodurcissables), de couleur sombre, à propriétés isolantes.

### *La résine urée/formol*

La résine urée/formol est un aminoplaste, c'est-à-dire qu'elle résulte de la polycondensation du formol  $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$  avec l'urée qui comporte un groupement amine  $-\text{NH}_2$ . Ce type de résine est généralement très clair et facile à colorer. De plus, cette résine est une matière dure (plastique thermodurcissable) qui possède des propriétés isolantes.



**Figure 14 : Mécanisme de formation de la résine urée/formol <sup>16</sup>**

<sup>16</sup> Cours sur les polymères d'HEI 3 de Mme GHINET, année 2013-2014

### c. Liant résinoïde renforcé de fibres "BF" <sup>17</sup>

C'est un type d'agglomérat résinoïde contenant un élément fibreux (en général fibres de verre en forme tissée).

Grâce au renforcement de l'agglomérat, la résistance du produit est augmentée. Par conséquent, il peut être utilisé à des vitesses périphériques élevées et dans des conditions de meulage difficiles.

### d. Liant caoutchouc "R"

Ces agglomérats sont obtenus à partir soit de caoutchouc naturel (latex) soit à partir de caoutchouc synthétique.

Les agglomérats à base de caoutchouc naturel sont employés surtout pour la fabrication de meules de rectification de gorges de roulement.<sup>18</sup>

Ceux à base de caoutchouc synthétique sont réservés à la fabrication de meules de tronçonnage. Les meules à liant caoutchouc ont une action douce et sont principalement utilisées pour de petites pièces dans les domaines de la bijouterie, l'horlogerie, la lunetterie, la coutellerie ou l'aéronautique.<sup>19</sup>

## 4. Les abrasifs utilisés <sup>20</sup>

Il existe plusieurs sortes de grains d'abrasifs que l'on peut utiliser : l'oxyde de zirconium, le carbure de silicium, l'oxyde d'aluminium.

**Oxyde d'aluminium** : Résistant et bien adapté à l'ébarbage de matériaux de haute ductilité comme l'acier au carbone, les aciers alliés, le bronze et les bois durs. Lorsque la résistance (capacité à résister à la rupture) est la principale préoccupation, l'oxyde d'aluminium s'avère supérieur à tous les autres grains abrasifs appliqués.

---

<sup>17</sup> <http://www.wijhuis.be/fr/advertenties1/1.pdf>, consulté le 07/04/2014

<sup>18</sup> *Abrasifs, Techniques de l'ingénieur*, Jean-Louis Douzet, publié le 10/08/1990

<sup>19</sup> <http://www.usinenouvelle.com/expo/meule-caoutchouc-buffl-p272569.html#ficheTechnique>, consulté le 07/04/2014

<sup>20</sup> [http://www.vsmimpavide.fr/Gamme\\_d\\_abrasifs.htm](http://www.vsmimpavide.fr/Gamme_d_abrasifs.htm), consulté le 04/04/14

**Carbure de silicium** : Le plus dur et le plus aigu des matériaux employés dans les abrasifs appliqués. C'est l'abrasif idéal pour le ponçage des métaux non ferreux (aluminium, laiton, bronze, magnésium, titane, etc.), le caoutchouc, le verre, les plastiques, les bois fibreux, l'émail et les autres matériaux relativement tendres. Le carbure de silicium est supérieur à tout autre abrasif par sa faculté de pénétration et de coupe plus rapide sous une pression légère.

**Oxyde de zirconium** : Possède une caractéristique d'auto-affûtage unique qui lui confère une grande longévité dans les opérations à fort enlèvement de matière. Il convient bien à l'ébarbage grossier des métaux et à l'aplanissement du bois, la rupture contrôlée du grain produisant en permanence de nouveaux points d'abrasion aigus.

Lors de notre première visite chez Saint-Gobain, nous avons pu observer le processus de fabrication des abrasifs et notamment les grains abrasifs utilisés.

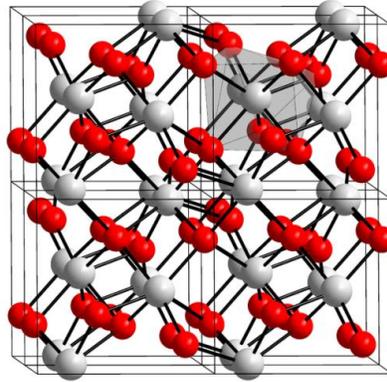
Nous avons appris que l'entreprise est à la troisième génération de matériaux abrasifs. En effet, il y a plusieurs années l'entreprise utilisait des grains naturels tels que l'émeri<sup>21</sup> (qui est un composant naturel du corindon : espèce minérale composée d'oxyde d'aluminium)<sup>22</sup> et l'oxyde de fer.

Puis, le procédé de fabrication a évolué pour utiliser de l'oxyde de zirconium ( $ZrO_2$ ) -plus connu sous le nom de zircone- dans la fabrication des abrasifs.

---

<sup>21</sup><http://www.legrandcub.fr/fichiers/ABRASIF/INFORMATIONS%20TECHNIQUES/ABRASIFS%20APPLIQUES.pdf>, consulté le 28/02/2014

<sup>22</sup> <http://fr.wikipedia.org/wiki/Corindon>, consulté le 07/04/2014



**Figure 15 : Structure de l'oxyde de zirconium** <sup>23</sup>

A l'heure actuelle, le procédé de fabrication de Saint-Gobain Abrasives a encore changé car ils utilisent du carbure de silicium dans le procédé de fabrication.



**Figure 16 : Aspect du carbure de silicium** <sup>24</sup>

La silice utilisée actuellement n'occasionne pas de problème pour le fonctionnement de l'oxydateur. En effet, la silice pose des problèmes de colmatage lorsque les grains sont de l'ordre du micromètre. Saint-Gobain Abrasives utilise des grains dont la taille est supérieure à cet ordre de grandeur donc sauf en cas de dysfonctionnement de la machine lors du dépôt des grains d'abrasifs, l'oxydateur n'a pas de problème de colmatage des canalisations.

<sup>23</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Zirconium\\_dioxide](http://en.wikipedia.org/wiki/Zirconium_dioxide) , consulté le 2/04/2014

<sup>24</sup> <http://www.solostocks.ma/vente-produits/mineraux-non-metalliques/silice/le-carbure-de-silicium-1652282>, consulté le 31/03/2014

## II. LA PROBLEMATIQUE

---

### A. LES EMISSIONS DE PHENOL ET DE FORMOL

#### 1. *Aspect social*

Le phénol est un solide cristallin blanc qui est légèrement acide et qui a une odeur évidente. C'est un produit qui est fabriqué par synthèse chimique. Chez Saint-Gobain, les produits contenant du phénol sont utilisés dans le processus de fabrication des abrasifs.

Avant l'installation de l'oxydateur, il était possible de trouver du phénol dans l'air et dans l'eau entourant l'usine. Aujourd'hui, le phénol est brûlé dans l'oxydateur. Si le phénol n'est pas brûlé, cela pose un risque pour la population de Conflans-Sainte-Honorine. En effet, le phénol est dangereux pour la santé humaine et l'usine se situe en pleine ville.

La qualité de vie est largement déterminée par l'environnement autour du domicile mais également au travail. Dans beaucoup de zones urbaines, il y a beaucoup de pollution au benzène. Par exemple, le benzène est un des polluants les plus fréquemment trouvés dans les zones à fort trafic. Le benzène est cancérigène, donc il doit être surveillé. Au niveau atmosphérique, il existe une grande quantité de benzène transformé en phénol par réaction photochimique. Cela pose un problème car le phénol est plus toxique que le benzène. Le phénol provoque des effets aigus et chroniques chez les humains. A cause de la transformation du benzène en phénol, il y a également beaucoup de phénol dans les zones à fort trafic et dans les domaines industriels. Cela pose un risque pour la santé de la population environnante.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **2008**, 22, 257-260

Le principal moyen d'exposition humaine au phénol est en respirant l'air qui le contient. Il y a plusieurs façons de libérer du phénol dans l'air, notamment par la combustion du bois, par les gaz d'échappements des voitures, par la fumée de cigarette, et, évidemment, par les industries qui utilisent ou fabriquent du phénol. On peut également trouver du phénol sur les sites de déchets dangereux et dans l'eau à cause du ruissellement industriel.

Certaines industries exposent les employés au phénol par inhalation avec de l'air contaminé. L'exposition industrielle peut également se produire par contact entre la peau et des produits contenant du phénol. Certains aliments et biens de consommation contiennent de faibles concentrations de phénol. Par exemple, on pourrait être confronté au phénol par contact cutané avec des désinfectants et aussi des pommades contenant du phénol.<sup>26</sup>

## **2. Impact environnemental**<sup>27</sup>

### **Milieu aquatique**

Le phénol est plus lourd que l'eau et tend à se déposer. Il se dissout lentement et, même dilué, continue de former des solutions toxiques. En raison de sa forte toxicité dans l'eau, le phénol figure dans la liste des polluants de l'eau. Il est un polluant très présent dans l'eau à cause, notamment, des industries qui utilisent les résines phénoliques. Aux États-Unis, en 1999, il y avait une étude concernant la toxicité, mineure et chronique, du phénol pour les poissons.

Le phénol pénètre dans le sang des poissons par les branchies mais aussi par l'épithélium muqueux de la bouche. Par le sang, le phénol s'accumule dans les différents organes au cours du temps. Cela influe sur le potentiel de reproduction, la survie, la croissance et le métabolisme des poissons. De plus, le phénol peut affecter diverses enzymes, produisant ainsi des changements imprévisibles chez les poissons.

---

<sup>26</sup> U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry(ATSDR): Toxicological profile for Phenol*. 2008.

<sup>27</sup> <http://www.lenntech.fr/phenol-environnement.htm>, consulté le 06/03/2014

Des tests ont été effectués avec quelques poissons exposés au phénol et d'autres étant dans le groupe de contrôle. Les poissons exposés avaient un excès de mucus sécrétés par leur peau et leurs branchies. Certains ont connu une suffocation mineure entre 72 heures et 96 heures d'exposition. De plus, quelques facteurs de croissance (tels que le poids, la taille, l'indice de maturité et la fécondité moyenne) ont diminué. Les chercheurs de cette étude ont conclu que le phénol produisait de nombreux effets défavorables chez les poissons et les écosystèmes aquatiques, même lorsque la concentration en phénol était faible.<sup>28</sup>

## **Atmosphère**

Les vapeurs de phénol sont plus lourdes que l'air et forment des mélanges explosifs sous l'effet de la chaleur. Le phénol s'oxyde à l'air et le processus d'oxydation est accéléré par la lumière ou par des impuretés à effet catalytique.

## **Sols**

Dans le sol, le phénol subit une dégradation microbienne aérobie ou anaérobie, de sorte que l'effet d'accumulation reste limité. L'accumulation est fonction de la présence de minéraux argileux (forte affinité avec l'oxyde d'aluminium).

### ***3. Impact financier***

Le brûlage des vapeurs nocives pour l'environnement représente une étape coûteuse dans la fabrication de matériaux abrasifs. En effet, la consommation de gaz des oxydateurs représente 20 % de la consommation en gaz naturel de l'entreprise, soit environ 250 k€. Ayant subi une période de restriction budgétaire due à la crise européenne, le groupe Saint-Gobain cherche donc à réaliser des économies.

De plus, le groupe Saint-Gobain est aussi attentif aux problèmes environnementaux et aux économies d'énergie. Pour cela, toutes les filiales du groupe ont pour obligation de diminuer leur consommation d'eau, de gaz et d'électricité de 2 %.

---

<sup>28</sup> Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1999, 63, 195-202

## B. LE PHENOL

### 1. Informations sur le phénol

On appelle phénols les dérivés hydroxylés du benzène et des hydrocarbures aromatiques, dans lesquels le groupe OH est lié à un atome de carbone du cycle benzénique. On peut les nommer également acides carboliques ou monohydroxybenzènes. Les dérivés polyhydroxylés sont appelés polyphénols.

Le phénol est un produit de synthèse. Pur, il se présente à la température ordinaire comme un solide blanc cristallisé. C'est un composé toxique ( $VME = 19 \text{ mg.m}^{-3}$ ) qui provoque des brûlures graves sur la peau.

Les températures de changement d'état des phénols sont plus élevées que celles des hydrocarbures de même masse molaire. On l'interprète par le fait que ces composés sont associés par des liaisons hydrogène intermoléculaires.

| Tf / °C | Te / °C | s (H <sub>2</sub> O) / g.L <sup>-1</sup><br>(20 °C) |
|---------|---------|---|
| 41      | 181     | 93  |

**Tableau 1: Quelques caractéristiques du phénol**<sup>29</sup>

La miscibilité avec l'eau dépend beaucoup de la température. Elle devient totale si  $T > 63 \text{ °C}$ .

#### *i. La présence et l'utilisation du phénol*

On peut trouver beaucoup du phénol à l'échelle mondiale. La quantité estimée en 1994 était de 5200 mille tonnes. En particulier, en Europe, il y avait 1967 mille tonnes, soit 37,83 % de la quantité de phénol mondiale. La présence du phénol dans l'environnement est due à la décomposition de cette substance à l'intérieur des animaux et du corps humain.

<sup>29</sup> <http://www.faidherbe.org/site/cours/dupuis/phenolsd.htm>

Ce produit chimique est important dans l'industrie. Plus particulièrement, le phénol est utilisé en tant qu'intermédiaire. Par exemple, le phénol est utilisé dans l'industrie des matières plastiques, comme dans la préparation des résines phénoliques et du bisphénol A. Il est également utilisé pour la fabrication d'alkylphénols, de caprolactame, d'acide salicylique, de chlorophénols, de nitrophénols et d'acide adipique. On peut donc trouver le phénol dans les émissions atmosphériques et les eaux usées. Le phénol est également utilisé, en moindre mesure, en tant que composant dans des cosmétiques et des médicaments.<sup>30</sup>

Depuis 2006, le phénol ne peut plus être utilisé comme substance biocide. Selon l'Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), les biocides sont des substances ou des préparations destinées à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre de toute autre manière, par action chimique ou biologique.<sup>31</sup>

### ***La formation et la métabolisation du phénol***

Dans l'atmosphère, le phénol peut être formé par isomérisation. Le benzène et l'oxygène réagissent facilement, ce qui produit un haut rendement de l'ion moléculaire du phénol. Ce processus dépend de l'irradiation par la lumière du soleil ; dans une étude réalisée en 2006, le rapport du phénol au benzène était supérieur à l'exposition au soleil. En raison de cette production naturelle de phénol, il existe des traces de phénol dans l'air auxquelles la population est exposée.<sup>32</sup>

Etant donné que le benzène se transforme naturellement en phénol, il est également toxique pour les humains. D'abord, le benzène s'oxyde en formant de l'oxyde de benzène. Puis, l'oxyde de benzène se réorganise en phénol. Finalement, il y a deux solutions : soit le phénol est éliminé ou la métabolisation se poursuit en convertissant le phénol en hydroquinone (ou 1,4-benzoquinone).<sup>33</sup>

Il y a plusieurs voies envisageables lors de la métabolisation du phénol. La principale est la conjugaison. Lorsque le phénol se conjugue avec de l'acide glucuronique ou du sulfate,

---

<sup>30</sup> *Phenol. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. 1999, 71, 749-767*

<sup>31</sup> <http://www.anses.fr/fr/content/les-produits-biocides>, consulté le 03/04/2014

<sup>32</sup> *Rapid Commun. Mass Spectrom. 2008, 22, 257-260*

<sup>33</sup> *Chemico-Biological Interactions. 2010, 184, 189-195*

l'hydroquinone est formé. L'hydroquinone n'est pas cancérigène. La métabolisation continue et enfin, les conjugués de glutathione sont formés et excrétés.<sup>34</sup>

## **ii. Une autre alternative pour éliminer le phénol : par bentonite**

En 2006, une proposition d'utilisation de filtres de bentonite avait été faite afin d'éliminer les contaminants et les substances qui sont toxiques pour l'environnement. Beaucoup de ces substances sont produites lors de la combustion et sont libérées dans les émissions des usines. Le but de la présente invention est l'enlèvement de COV dans une salle ou un bâtiment.

La bentonite est une argile absorbante. Elle est formée lorsque la cendre volcanique est décomposée. Des expériences ont été réalisées pour tester la capacité de la bentonite à filtrer des produits chimiques potentiellement toxiques dans la fumée de cigarette. Une première idée est la filtration de la fumée à travers la bentonite avant l'inhalation. Une autre idée est un système de filtration (par exemple une unité de climatisation). Le système serait un filtrage et un recyclage de la fumée de l'air. Cela réduirait le niveau de toxines potentielles dans l'air environnant. Cette invention pourrait également être mise en œuvre dans des usines, en utilisant une unité de climatisation.

Une autre solution est une cheminée d'échappement. Dans ce dernier cas, le gaz passerait à travers une grande masse de bentonite soit disposé à l'intérieur d'un conteneur ou tenu en place par un support. Dans les tests, le phénol a été inclus dans les principaux composés retenus sur par filtre. De plus, les filtres de bentonite étaient capables de retenir beaucoup plus de composés organiques que les filtres classiques. En fait les filtres de bentonite ont retenu plus de 200 composés organiques à haute concentration.<sup>35</sup>

---

<sup>34</sup> *Phenol. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. 1999, 71, 749-767*

<sup>35</sup> *Byrne, Paul James. World Intellectual Property Organization International Bureau. 2006, 59-3, 11-47*

## **2. TOXICITÉ**

### **i. Le phénol et les humains**

Le phénol est nuisible pour l'environnement et également pour la santé humaine. Il peut entrer dans le corps de plusieurs façons. Voici les trois principales.

Premièrement, par inhalation. Lors de l'inhalation du phénol, les poumons peuvent envoyer rapidement le phénol dans le corps. L'exposition à court terme pourrait provoquer une irritation des voies respiratoires et également des contractions musculaires. L'exposition à long terme pourrait endommager le foie, les reins, le cœur et les poumons. Il existe également une corrélation entre les travailleurs qui étaient exposés au phénol pendant longtemps et les personnes atteintes de maladies cardio-vasculaires.

Deuxièmement, le phénol pourrait entrer dans le corps par ingestion. Si on ingère le phénol, il se déplace rapidement à travers le système digestif. L'ingestion de phénol a beaucoup de conséquences. Le phénol concentré pourrait provoquer des tremblements musculaires. Il pourrait également créer des problèmes moteurs. En fait, l'ingestion de phénol concentré pourrait endommager le système gastro-intestinal et provoquer la mort.

La troisième manière dont le phénol peut entrer dans le corps est le contact cutané. Il serait possible pour la peau d'entrer en contact avec les vapeurs phénolées (le phénol liquide ou un liquide contenant du phénol). Le contact entre le corps et le phénol pourrait causer de graves dommages de la peau. Par exemple, le contact avec le phénol concentré causerait des cloques, des lésions oculaires graves et des brûlures.

Quelque soit la manière de contamination par le phénol, il sera éliminé sous forme de métabolite par excrétion.<sup>36</sup> Au cas où il existerait une intoxication létale au phénol, celui-ci se concentrerait dans les différentes parties du corps. La concentration la plus élevée serait dans le cerveau, ensuite dans les reins. Finalement, la concentration la plus faible serait dans le foie et les muscles. Au cas où il existerait une faible intoxication au phénol, la plupart des conjugués

---

<sup>36</sup> U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry(ATSDR): Toxicological profile for Phenol. 2008.*

seraient excrétés dans l'urine. Si le phénol pénétrait dans l'organisme par ingestion, inhalation ou absorption par la peau, il y aurait des effets locaux aigus ; par exemple l'irritation sévère des tissus ou nécrose, la mort de la plupart des cellules dans un tissu ou un organe. S'il y avait une forte dose de phénol, le système nerveux central pourrait être endommagé.

## **ii. Le phénol et les animaux**

Des tests ont été effectués sur des animaux pour observer d'autres effets possibles. Des effets ont été remarqués comme l'irritation, la dermatite, des effets sur le système nerveux central, la toxicité sur le foie et les reins. Le phénol est un faible inducteur de l'apoptose dans des cellules de leucémie, la mort normale et contrôlée de cellules qui se produit lorsque les organismes grandissent et se développent. Des tests ont également été effectués dans les laboratoires pour examiner les effets génétiques de l'intoxication par le phénol. Les résultats montrent que le phénol est un faible inducteur de la ségrégation mitotique. En plus, le phénol n'augmente pas la fréquence des mutations létales récessives liées au sexe.<sup>37</sup>

## **iii. Le phénol est Cancérogène Mutagène Reprotoxique**

Le phénol présente un risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée. Le phénol est également corrosif, Cancérogène, Mutagène et Reprotoxique (CMR). Dans la dernière classification européenne réglementaire des produits chimiques cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction- 31<sup>e</sup> ATP, 2009, le phénol a une classification CMR: MUTA 3 (voir annexe 4). Les substances classées mutagènes catégorie 3 sont des substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets mutagènes possibles, c'est-à-dire que des études appropriées de mutagénicité ont fourni des éléments mais on ne dispose pas d'assez d'éléments pour justifier une forte présomption que l'exposition de l'homme à de telles substances peut entraîner des défauts génétiques héréditaires.<sup>38</sup>

---

<sup>37</sup> *Phenol. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. 1999, 71, 749-767*

<sup>38</sup> Produits chimiques cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction-classification réglementaire-INRS



**Figure 17 : Pictogrammes de sécurité du phénol**

#### **iv. Est-ce que le phénol provoque le cancer ?**

Plusieurs études ont été effectuées concernant la possibilité qu'a le phénol de provoquer le cancer. Aux États-Unis, en 1984, une étude contrôlée a été menée sur des personnes qui travaillaient avec du caoutchouc. Les analyses ont montré que le phénol est un facteur de risque potentiel pour cinq types de cancer. Ils ont analysé le phénol comme un facteur de risque potentiel pour ces cancers. Aucun lien significatif n'a été établi entre le phénol et les cancers. Malgré cela, par rapport à d'autres substances auxquelles ces travailleurs ont également été exposés, c'est le phénol qui avait la relation la plus forte avec le cancer des voies respiratoires.

Une autre étude a été réalisée sur des travailleurs du bois finlandais. Cette étude a trouvé mis en évidence un risque élevé du cancer du poumon. Néanmoins, cette étude a été répétée trois fois et les résultats étaient différents. Cela ne démontre donc pas que l'exposition au phénol constitue un risque de cancer.

La conclusion de ces études est que le phénol n'est pas classé comme cancérigène pour les humains en raison d'indications insuffisantes.<sup>39</sup>

Le phénol n'est pas cancérigène. Malgré cela, il agit comme promoteur après l'exposition aux substances qui sont cancérigènes.<sup>40</sup>

Voici la classification CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) du phénol :

Le phénol est classé groupe 3 : Inclassable quant à sa cancérigénicité pour l'Homme.

<sup>39</sup> *Phenol. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. 1999, 71, 749-767*

<sup>40</sup> Bonnard, N.; Brondeau, M.-T.; Jargot, D.; Lafon, D.; Miraval, S.; Schneider, O. *Institut National de Recherche et de Sécurité. 2011*

## v. Des avertissements et des mesures de protection <sup>41</sup>

Il existe des avertissements et également des mesures qu'on peut prendre pour se protéger contre l'exposition de phénol :

### **Phrases R :**

R 23/24/25 : Toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion.

R 34 : Provoque des brûlures.

R 48/20/21/22 : Nocif : risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion.

R 68 : Possibilité d'effets irréversibles.

### **Phrases S :**

S 24/25 : Éviter le contact avec la peau et les yeux.

S 26 : En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste.

S 28 : Après contact avec la peau, se laver immédiatement et abondamment avec du PEG 400 et nettoyer ensuite avec beaucoup d'eau.

S 36/37/39 : Porter un vêtement de protection approprié, des gants et un appareil de protection des yeux/du visage.

S 45 : En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible, lui montrer l'étiquette).

Il existe également des VLEP (valeurs limites d'exposition professionnelle) au phénol concernant l'air des lieux de travail (voir le tableau 2).

---

<sup>41</sup> FDS : Phénol, voir annexe 5

| PAYS                              | VLEP                             |     | Court terme<br>(15 minutes max.) |                   |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----|----------------------------------|-------------------|
|                                   | Moyenne pondérée<br>sur 8 heures |     | ppm                              | mg/m <sup>3</sup> |
| France<br>(VLEP<br>contraignante) | 2                                | 7,8 | 4                                | 15,6              |
| Union européenne                  | 2                                | 7,8 |                                  |                   |
| États-Unis (ACGIH)                | 5                                |     |                                  |                   |

**Tableau 2 : VLEP du phénol <sup>42</sup> (voir annexe 5)**

## 5. Le phénol et les maladies

En 1999, une étude a été réalisée pour tester le rapport entre les hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH) et certaines maladies. Il s'est avéré que l'huile avec une teneur élevée en aromatiques était plus toxique que l'huile avec une faible teneur en aromatiques. De plus, on voulait prouver que les PAH ne sont pas les principales causes de la toxicité. En fait, d'autres composants du pétrole peuvent contribuer à cette toxicité. Par exemple l'alkyl phénol, est trouvé dans tous les pétroles bruts. Il est relativement soluble dans l'eau et a une toxicité élevée.

Dans cette étude trois types d'huile (toutes altérées par l'environnement) ont été collectées à partir de déversements souterrains en Californie. Les trois huiles testées étaient "5 x", "B12", et "C8". On a préparé les fractions accommodées à l'eau (WAF) par les trois types d'huiles. Les constituants importants du WAF « 5 x » comprenaient des C2 - C4 alkyl phénols. En plus, les alkyl phénols étaient des constituants mineurs du WAF d'huiles « B12 » et « C8 ». On a trouvé que l'augmentation du pourcentage des PAH n'a pas augmenté la toxicité du WAF.<sup>43</sup>

En Californie, une autre étude a été effectuée. 49 produits intermédiaires de combustion de Diméthylformamide (DMF) ont été analysés. Le DMF est un COV. La production en masse de DMF de cellulose de la plante est possible. Avec un procédé amélioré pour des réactions impliquant la biomasse, le DMF pourrait avoir une teneur en énergie plus rapidement et plus importante que l'éthanol. Dans cette étude on a trouvé que les produits intermédiaires de

<sup>42</sup> <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2015>, consulté le 28/02/2014

<sup>43</sup> *Aquatic Toxicology*. **1999**, 46, 253-268

combustion sont beaucoup plus dangereux que le DMF lui-même.

Le but de l'étude était d'évaluer l'action du DMF et des produits intermédiaires de combustion sur le cancer, leurs toxicités et aussi leurs impacts environnementaux. On a trouvé que 9 produits intermédiaires sont associés aux 26 types de tumeurs et de maladies. Un de ces produits était le phénol. En fait, le phénol, pour lequel on avait des preuves directes d'une association thérapeutique avec 8 maladies. Le phénol a également une corrélation avec l'origine de deux des maladies.<sup>44</sup>

## C. LE FORMOL

### 1. *L'utilisation du formol* <sup>45</sup>

La plupart du formol commercial est produit à partir de méthanol. Une des utilisations du formol est comme solvant pour les matériaux et une matière première dans la production de polymères phénoliques par la condensation du formol et phénol. L'utilisation du formol la plus importante est dans la synthèse des résines, en particulier les résines phénol-formol.

Il y a plusieurs industries qui utilisent du formol. On peut trouver le formol dans les produits de beauté, comme les produits cosmétiques, le shampooing, la lotion de bronzage et la crème à raser. On peut également trouver du formol dans les produits de nettoyage. Le formol est aussi utilisé dans l'agriculture comme pesticide et germicide. De plus, c'est un agent de conservation pour les aliments. Par exemple, le formol permet la conservation des fruits de mer. Cependant, l'ingestion du formol pose un risque pour les humains. Donc l'utilisation dans l'industrie agroalimentaire est dangereuse.

Il y a également des matériaux qui contiennent du formol, par exemple les matériaux de construction. Le formol dans ces matériaux est lentement émis dans l'air. Dans les hôpitaux, le

---

<sup>44</sup> *Environmental and Molecular Mutagenesis*. **2012**, 53, 478-487

<sup>45</sup> *American Journal of Pharmacology and Toxicology* 4. **2009**, 3, 98-106

formol est utilisé comme agent de conservation et stérilisant. Parce que le formol est très réactif, il peut réagir avec les macromolécules dans les systèmes biologiques.

### **Les caractéristiques physico-chimiques du formol**

Le formol, également appelé méthanal ou encore formaldéhyde, est présent dans les fluides et les tissus biologiques et également dans l'environnement. La fabrication du formol se fait par des processus naturels mais aussi de manière artificielle. Le formol est un gaz sans couleur, mais avec une odeur forte. Il est très réactif et inflammable. Le formol peut également être explosif dans l'air. Le formol est réactif lui-même et aussi il réagit avec l'eau, en formant de nouvelles substances chimiques qui possèdent des propriétés différentes. Il est possible que le formol soit cancérigène pour les animaux, et il est connu qu'il est cancérigène pour les humains.

### **2. La toxicité du formol**

Le formol intervient dans le métabolisme des acides aminés des cellules de mammifères. Le métabolisme normal produit le formol comme un intermédiaire. De cette manière, le formol est déjà présent à un certain niveau dans l'organisme humain. L'excès de formol peut pénétrer dans l'organisme par inhalation. Ce formol se dépose au niveau des voies respiratoires supérieures, en particulier, dans les voies nasales, les bronches, la trachée et la cavité orale.

Le métabolisme du formol est très rapide. Premièrement il se forme le glutathione hydroxyméthyl par le conjugué de formaldéhyde-glutathione. Puis il y a deux options. L'une est que le formol produit des liens croisés entre soit deux protéines soit entre une protéine et un brin de l'ADN. L'autre est que le formol s'oxyde par la *formaldéhyde déshydrogénase*. Enfin, le formol est excrété par soit l'urine ou par CO<sub>2</sub> en expirant. Comme ce métabolisme est très rapide, l'exposition au formol par inhalation n'augmente pas la concentration de formol dans le sang humain.

## **D. LA LEGISLATION**

### ***1. Le rejet de phénol dans la fabrication des matériaux abrasifs***

Au cours du processus de fabrication de matières abrasives, des résines contenant du phénol et du formol sont appliquées sur les toiles servant de base aux matières abrasives. Lors du processus de fabrication, les toiles avec la résine passent dans des fours permettant le séchage des résines qui dégagent alors des vapeurs. Ainsi quand la résine sèche, des vapeurs se dégagent. Ces vapeurs contiennent des COV : notamment le formol et le phénol. Les émissions de formol et de phénol étant réglementées, ces vapeurs doivent donc être ensuite traitées. Voyons dans cette partie la réglementation concernant le phénol et le formol.

### ***2. La législation en Europe***

#### **Le formol**

Plusieurs pays européens limitent ou interdisent l'utilisation de formaldéhyde (dont en thanatopraxie). L'importation de produits traités au formaldéhyde est alors soumise à réglementation ou même interdiction.

Concernant les produits biocides (dont phytopharmaceutiques), sous le nom de formaldéhyde pour l'Union européenne : cette substance active est interdite par la décision 2007/442/CE à la suite de l'examen relatif à l'inscription à l'annexe I de la directive 91/414/CEE<sup>15</sup>.

### 3. La législation en France

#### i. Les COV <sup>46</sup>

Art.27-7°- COV non méthaniques

Rejet total de composés organiques volatils à l'exclusion du méthane : Si le flux horaire total dépasse 2 kg/h, la valeur limite exprimée en carbone total de la concentration globale de l'ensemble des composés est de 110 mg/m<sup>3</sup>. L'arrêté préfectoral fixe, en outre, une valeur limite annuelle des émissions diffuses sur la base des meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable.

Dans le cas de l'utilisation d'une technique d'oxydation pour l'élimination COV, la valeur limite d'émission en COV exprimée en carbone total est de 20 mg par m<sup>3</sup> ou 50 mg par m<sup>3</sup> si le rendement d'épuration est supérieur à 98%. La teneur en oxygène de référence pour la vérification de la conformité aux valeurs limites d'émission est celle mesurée dans les effluents en sortie d'équipement d'oxydation. Dans le cadre de l'étude d'impact prévue à l'article 3.4 du décret du 21 septembre 1977 susvisé, l'exploitant examine notamment la possibilité d'installer un dispositif de récupération secondaire d'énergie. En outre, l'exploitant s'assurera du respect des valeurs limites d'émission définies ci-dessous pour les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), le monoxyde de carbone (CO) et le méthane (CH<sub>4</sub>)

- NO<sub>x</sub> (équivalent NO<sub>2</sub>) : 100 mg/m<sup>3</sup>
- CH<sub>4</sub> (équivalent méthane) : 50 mg/m<sup>3</sup>
- CO : 100 mg/m<sup>3</sup>

**Figure 18 : Extrait de l'arrêté du 2 février 1998**

Par cet arrêté nous apprenons que : "Dans le cas de l'utilisation d'une technique d'oxydation pour l'élimination des COV, la valeur limite d'émission en COV exprimée en carbone total est de 20 mg par m<sup>3</sup> ou 50 mg par m<sup>3</sup> si le rendement d'épuration est supérieur à 98%."

#### ii. Le formol

Pour la France, cette substance active n'est pas autorisée dans la composition de préparations bénéficiant d'une autorisation de mise sur le marché.

<sup>46</sup> Extrait de l'arrêté du 2 février 1998

Les produits contenant du formaldéhyde ont un délai à la distribution fixé au 30 juin 2008, et un délai à l'utilisation fixé au 20 décembre 2008, par l'avis paru au *Journal officiel* du 31 octobre 2007.

### iii. Le phénol <sup>47,48,49</sup>

Le code du travail français impose des VLEP (Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle) pour le phénol.

Voici un extrait du code du travail de la sécurité sociale : Article R4412-149 (Modifié par Décret n°2012-746 du 9 mai 2012 - art. 1). Ce tableau montre les VLEP autorisées pour le phénol.

| Dénomination  | Numéro CE(1) | Numéro CAS(2) | VLEP                  |                 |                        |                   |     | Observations           | Mesures transitoires |
|---------------|--------------|---------------|-----------------------|-----------------|------------------------|-------------------|-----|------------------------|----------------------|
|               |              |               | 8h (3)                | Court terme (4) |                        |                   |     |                        |                      |
|               |              |               | mg/m <sup>3</sup> (5) | ppm (6)         | Fibres/cm <sup>3</sup> | mg/m <sup>3</sup> | ppm | Fibres/cm <sup>3</sup> |                      |
| <b>Phénol</b> | 203-632-7    | 108-95-2      | 7,8                   | 2               | 15,6                   | 4                 |     |                        | Peau (7)             |

**Figure 19 : Tableau extrait du code du travail**

<sup>47</sup><http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?idArticle=LEGIARTI000025858806&idSectionTA=LEGISCTA000018530560&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20140331>, consulté le 28/03/2014

<sup>48</sup> <http://eur-lex.europa.eu/>, consulté le 28/03/2014

<sup>49</sup> <http://www.ineris.fr/aida/>, consulté le 28/03/2014

Légende du tableau :

- (1) Inventaire européen des substances chimiques existantes (EINECS).
- (2) Numéro du Chemical Abstract Service (American Chemical Society).
- (3) Mesurée ou calculée par rapport à une période de référence de 8 heures, moyenne pondérée dans le temps.
- (4) Valeur limite au-dessus de laquelle il ne doit pas y avoir d'exposition et qui se rapporte à une période de quinze minutes, sauf indication contraire.
- (5) mg/m<sup>3</sup> : milligrammes par mètre cube d'air à 20° C et 101,3 kPa (760 mm de mercure).
- (6) ppm : partie par million en volume dans l'air (ml/m<sup>3</sup>).
- (7) La mention " peau " accompagnant la limite d'exposition professionnelle indique la possibilité d'une pénétration cutanée importante.

#### ***4. La législation dans le département des Yvelines***<sup>50</sup>

Un arrêté préfectoral datant du 7 septembre 2004 stipule que l'Usine Saint-Gobain Abrasives de Conflans-Sainte-Honorine doit avoir en permanence son oxydateur en état de fonctionnement et que sa température ne doit pas être inférieure à 800°C.

Le rendement de l'oxydateur doit être de 98 % et la valeur maximale pour le rejet de COV dans l'atmosphère doit être de 20 mg/m<sup>3</sup>.

---

<sup>50</sup> Arrêté n° 04-176, voir annexe 7

## 5. *Évolution de la législation à l'avenir*

### **Le formol** <sup>51</sup>

La France, pour se mettre en conformité avec le droit européen et les recommandations de l'OMS (Organisme Mondial de la Santé), a soumis en consultation en juin 2010 un projet de décret relatif à des valeurs-guides (valeurs limites à ne pas dépasser) après avis de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail. Ce décret concerne les gestionnaires de certains établissements recevant du public (enseignement, accueil d'enfants de moins de six ans, établissements sanitaires et sociaux disposant d'une capacité d'hébergement, établissements sportifs couverts) et devrait entrer en vigueur. Un premier abaissement de la valeur autorisée est prévu en 2015, puis un deuxième en 2022.

- 30 µg/m<sup>3</sup> en moyenne hebdomadaire à compter du 1er janvier 2015.
- 10 µg/m<sup>3</sup> en moyenne hebdomadaire à compter du 1er janvier 2022.

Pour le décret, une valeur-guide pour l'air intérieur est « un niveau de concentration de polluants dans l'air intérieur fixé, pour un espace clos donné, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine, à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné. »

---

<sup>51</sup> [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/VGAI\\_formaldehyde.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/VGAI_formaldehyde.pdf), consulté le 07/04/2014

# III. THEORIE DU PROCESS

---

## A. PRESENTATION D'EISENMANN <sup>52,53,54</sup>

L'entreprise Eisenmann a été créée en 1951 par l'Allemand Eugen Eisenmann. Eisenmann est un fabricant d'équipements pour l'industrie.



*Figure 20 : Logo d'Eisenmann*

Historiquement, Eisenmann est un industriel traitant les solvants et le brouillard issus des peintures utilisées pour la carrosserie des voitures.

Aujourd'hui, la société Eisenmann s'est diversifiée et est présente dans de nombreuses activités.

Parmi les champs d'activité d'Eisenmann, on peut compter :

- le traitement de surface : ateliers de peinture...
- le traitement de l'air
- la purification des eaux de process, traitement des eaux usées
- l'automatisation de la manutention
- la mise en place de lignes de cuisson pour céramique

---

<sup>52</sup> <http://www.eisenmann.com/>, consulté le 20/03/2014

<sup>53</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Eisenmann\\_AG](http://de.wikipedia.org/wiki/Eisenmann_AG), consulté le 20/03/2014

<sup>54</sup> Eisenmann (Août 2006). "Technique de l'environnement : Traitement d'air - Traitement des eaux usées - Elimination des déchets". Page 1. Consulté le 20/03/2014

- la mise en place d'installations destinées au traitement de produits par recyclage
- le traitement thermique
- la récupération d'énergie

Les concepts sont élaborés sur mesure en fonction de l'entreprise cliente. Eisenmann utilise des technologies de pointe pour satisfaire les demandes de ses clients.

La société Eisenmann est présente dans onze pays (en Europe, en Russie, en Asie et en Amérique). Le siège social se trouve à Böblingen (Allemagne).

La société compte environ 4.000 employés dans le monde, dont environ 60 % en Europe et plus de 40 % dans les marchés émergents.

## **B. LE FONCTIONNEMENT DE L'OXYDATEUR (RTO) <sup>55</sup>**

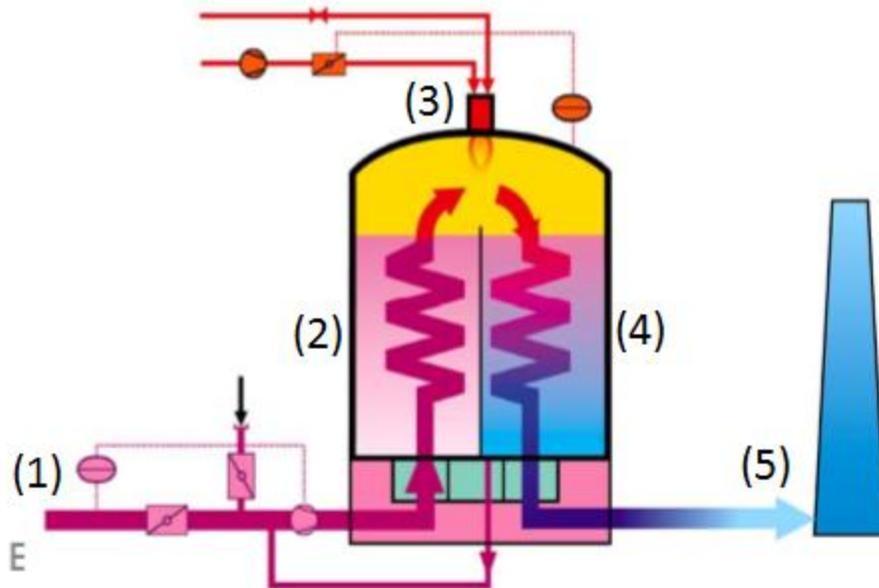
### ***1. Description du fonctionnement***



***Figure 21 : Photographie des oxydateurs sur le site de Conflans-Sainte-Honorine***

---

<sup>55</sup> Documentation Eisenmann



**Figure 22 : Principe de fonctionnement de l'oxydateur**

A la sortie des machines de fabrication des matières abrasives, les vapeurs polluées émises par les fours de séchage de résines sont captées et envoyées dans l'oxydateur (1). Les gaz à épurer entrent à une température d'environ 70°C et traversent une colonne de céramiques chaudes (2). Au contact de ces céramiques, les gaz se réchauffent et s'enflamment dans la chambre de combustion où la température est de 800°C (3). La combustion (oxydation) dégage de l'énergie. Après la combustion, les gaz épurés chauds traversent une colonne de céramiques froides (4). Les gaz chauds cèdent alors de la chaleur aux céramiques froides qui se réchauffent. Finalement, les gaz épurés sont rejetés à l'air libre (5).

Il y a plusieurs chambres de céramiques qui tournent : les céramiques froides qui se sont réchauffées au contact des vapeurs purifiées deviennent les céramiques chaudes qui sont en contact avec les vapeurs phénolées. Ce système de rotation permet d'avoir un appareil plus compact (surfaces des chambres plus petites) et aussi de ne pas avoir un système où des clapets doivent s'ouvrir.

## 2. *L'autothermie*

Les oxydateurs peuvent aussi fonctionner en mode autotherme. L'utilisation de ce mode est possible quand la réaction se maintient uniquement avec l'énergie que les COV apportent lors de la combustion. La température de la chambre de combustion augmente tandis que le brûleur à gaz se trouvant dans la chambre de combustion diminue sa puissance et se coupe.

Ce mode représente donc une économie de gaz naturel.

Cependant, si la concentration des COV diminue, la température de la chambre de combustion va diminuer ce qui entrainera le redémarrage du brûleur à gaz.

## C. THEORIE SUR LA COMBUSTION

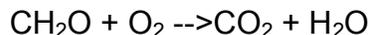
La combustion est une réaction chimique où des molécules complexes sont décomposées en molécules plus petites et plus stables via un réarrangement des liaisons entre les atomes. La chimie de la combustion est une composante majeure de la chimie à haute température qui implique principalement des réactions radicalaires.<sup>56</sup>

La combustion est une réaction d'oxydoréduction, en l'occurrence une réaction d'oxydation d'un combustible par un comburant.

Le combustible est le corps qui est oxydé durant la réduction ; c'est un réducteur, il perd des électrons.

Le comburant est le corps qui est réduit ; c'est un oxydant, il gagne des électrons.

L'équation de combustion complète du formol est :



La réaction de combustion est habituellement incomplète. Seul le contrôle des conditions permet d'obtenir une combustion complète, en apportant un excès de dioxygène à haute température par exemple.

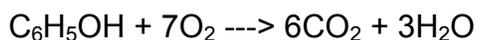
La combustion incomplète a lieu quand la quantité de comburant est insuffisante pour permettre la réaction complète du combustible ou lorsque le temps de contact ou la température sont trop faibles. La combustion incomplète produit des résidus de combustion sous forme de cendres

---

<sup>56</sup> <http://fr.wikipedia.org/wiki/Combustion>, consulté 11/03/2014

qui émettent des fumées contenant des composés tels que : le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NOx) ou les composés organiques volatils (COV).

C'est le cas pour le phénol. En effet, pour ce composé, l'équation de combustion est :



Ceci montre qu'une très grande proportion de dioxygène est nécessaire pour avoir une combustion complète, ce qui est dû au grand nombre de carbones présents dans la structure du phénol.<sup>57</sup>

De plus, pour les composés contenant un cycle benzénique, la combustion n'est quasiment jamais complète.

Le phénol a tendance à brûler avec une flamme très enfumée pleine de particules de carbone.

---

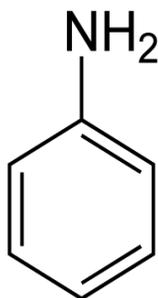
<sup>57</sup> <http://www.chemguide.co.uk/organicprops/phenol/other.html>, consulté le 07/04/2014

## IV. PISTES D'AMÉLIORATIONS ENVISAGÉES

---

### A. SUBSTITUTION DES RESINES

Une de nos premières idées a été de chercher à remplacer les résines utilisées actuellement dégageant des gaz à traiter par des résines non polluantes ou moins polluantes (à base d'aniline).



*Figure 23 : Molécule d'aniline*

Lors de nos recherches bibliographiques, nous avons découvert que des résines minérales telles que les résines géopolymères (chaînes ou réseaux de molécules minérales liées par des liaisons covalentes) pouvaient être utilisées dans la fabrication de matériaux abrasifs. Ce type de résines a été inventé par Joseph Dadidovits.<sup>58</sup> Elles sont actuellement développées, notamment, par la société Geogrind se situant à Tournai.<sup>59</sup>

---

<sup>58</sup> <http://www.geopolymer.org/fr/science/introduction>, consulté le 07/04/2014

<sup>59</sup> [http://www.innovatech.be/upload/espace\\_innovation/Dossiers/dossier\\_de\\_presse\\_Geogrind.pdf](http://www.innovatech.be/upload/espace_innovation/Dossiers/dossier_de_presse_Geogrind.pdf), consulté le 17/02/2014

Elles comprennent les unités moléculaires (ou groupes chimiques) suivantes :

-Si-O-Si-O- siloxo, poly(siloxo)

-Si-O-Al-O- sialate poly(sialate)

-Si-O-Al-O-Si-O- sialate-siloxo, poly(sialate-siloxo)

-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O- sialate-disiloxo, poly(sialate-disiloxo)

-P-O-P-O- phosphate, poly(phosphate)

-P-O-Si-O-P-O- phospho-siloxo, poly(phospho-siloxo)

-P-O-Si-O-Al-O-P-O- phospho-sialate, poly(phospho-sialate)

-(R)-Si-O-Si-O-(R) organo-siloxo, poly-silicone

Cette solution demande un gros travail de recherche et développement de la part de Saint-Gobain et n'est pas envisageable à notre niveau. De plus, le groupe a déjà des partenariats avec des laboratoires universitaires et de recherche afin de travailler sur cette thématique.

## **B. AMELIORATION DE LA TOILE TISSEE**

Dans l'optique de diminuer la consommation de gaz utilisé dans le brûlage des vapeurs polluées, nous avons pensé à améliorer la toile tissée utilisée pour la fabrication des abrasifs.

Nous avons envisagé de travailler sur la texture de la toile. En effet, l'utilisation d'une toile moins poreuse et plus lisse pourrait réduire la quantité de résine adsorbée sur la toile et donc avoir moins de vapeurs émises lors du procédé de fabrication.

Cependant, lors de notre première visite à l'usine Saint-Gobain de Conflans-Sainte-Honorine, cette solution n'a pas été retenue car elle demande un travail de recherche et développement conséquent qui est déjà assuré par d'autres partenariats du groupe.

## **C. OPTIMISATION DU TEMPS D'UTILISATION DE L'OXYDATEUR**

Au démarrage du projet, nous avons pensé qu'il n'était pas nécessaire que l'oxydateur fonctionne à longueur de journée mais que l'on pouvait stopper celui-ci en fonction des produits qui étaient fabriqués par l'usine.

Mais l'oxydateur a besoin d'un temps de chauffe de quatre heures pour être opérationnel, et comme le site de Conflans-Sainte-Honorine connaît des pics d'activité et ne peut pas prévoir sa production d'une semaine sur l'autre, il ne serait pas possible de prévoir quand l'oxydateur devrait être en marche et quand il pourrait être arrêté.

Dans l'arrêté préfectoral N°04-176 (voir extrait en Annexe 7) ; il est stipulé que l'oxydateur doit être en marche dès que l'usine Saint-Gobain est en activité. Il n'est donc pas possible d'envisager l'arrêt de l'oxydateur avec l'usine en activité dans ces conditions.

Mais une future refonte de l'arrêté préfectoral, ne précisant pas que l'oxydateur doit impérativement fonctionner lorsque l'usine est en activité, permettrait d'éteindre l'oxydateur lors de certaines productions. On pourrait placer ces productions juste avant ou juste après le week-end, ce qui permettrait d'avoir un long arrêt de l'oxydateur dans la semaine.

## **D. OPTIMISATION DE L'OXYDATEUR**

La dernière solution envisagée pour diminuer la consommation de gaz de l'entreprise fut l'optimisation de l'oxydateur.

En effet, nous avons pensé qu'en améliorant les performances de celui-ci ou en réussissant à influencer sur un paramètre important dans le fonctionnement de l'oxydateur (température de fonctionnement, concentration des COV à l'entrée des oxydateurs,...), nous pourrions diminuer la quantité de gaz naturel nécessaire au brûlage des vapeurs émises durant le procédé de fabrication.

Cependant, en améliorant la performance de l'oxydateur ou en en modifiant les paramètres de fonctionnement, il est nécessaire de vérifier que nous respectons toujours les réglementations liées aux rejets dans l'atmosphère.

Au terme de nos échanges avec les représentants de Saint-Gobain Abrasives, cette solution a été retenue.

# V. SOLUTIONS RETENUES

---

## A. DIMINUER LA TEMPERATURE

Actuellement, l'oxydateur de Conflans-Sainte-Honorine travaille à 800°C. Conformément aux spécifications techniques données par Eisenmann (voir Annexe 8), l'appareil est opérationnel dès 650°C. Nous souhaitons donc montrer grâce à des mesures de gaz à la sortie de l'oxydateur que Saint-Gobain Abrasives peut travailler à une température inférieure tout en respectant les réglementations en vigueur (voir l'arrêté préfectoral N°04-176 Annexe 7).

De plus, Saint-Gobain est très largement en dessous des normes de rejet (voir annexe 9 page 4), donc même si les taux de rejet de monoxyde de carbone augmentent lors de la baisse de température, l'entreprise sera encore en-dessous des Valeurs Limites d'Exposition fixées par la réglementation.

Cependant, il est précisé dans l'arrêté préfectoral N°04-176 que la température de fonctionnement de l'oxydateur doit être de 800°C (Chapitre 2, article 2 page 16 voir annexe 7). Nous avons alors effectué des recherches afin de connaître les démarches possibles afin de modifier un arrêté préfectoral mis en place il y a 10 ans. D'après les différentes personnes interrogées (notamment au tribunal administratif), modifier un texte préfectoral ayant passé les 2 mois de contestation est extrêmement difficile, même si nous avons des mesures pour appuyer notre demande.

Cette partie juridique dépasse nos compétences. Nous avons alors choisi de demander des devis pour avoir les appareils nous permettant de faire ces mesures et de donner toutes ces informations au service juridique de Saint-Gobain qui est plus à même de pouvoir demander des modifications auprès de la préfecture des Yvelines.

Cependant, par manque de temps, nous n'avons pas pu effectuer ces mesures. Nous avons donc demandé à Industrial Technology Oldham -entreprise spécialisée dans la détection de gaz- un devis pour une location d'appareil pour une semaine afin d'effectuer des mesures à différentes températures et s'assurer de toujours respecter les normes de rejet. (Voir annexe

10 : tarif de location d'une sonde).

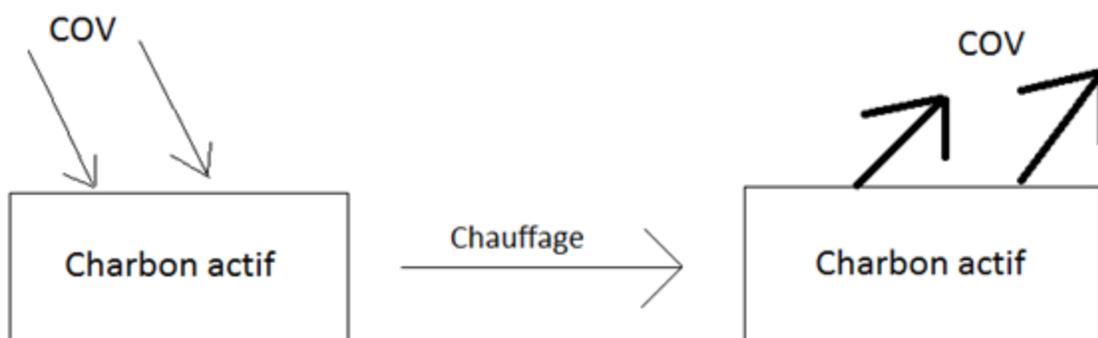
Lors de notre deuxième visite chez Saint-Gobain Abrasives, nous avons appris qu'un projet de refonte de l'arrêté préfectoral était en cours et que dans ce cadre, l'entreprise préférerait avoir un analyseur installé de manière permanente sur le site. Nous avons donc contacté l'entreprise TechTeam qui nous avait été recommandée par IST Oldham. En effet, cette dernière société ne pouvait pas répondre favorablement à notre demande en raison des gammes de mesures demandées et des conditions de température. Nous ne sommes pas en mesure de vous présenter le devis de Tech Team car nous ne l'avons pas encore reçu. Dès que nous le recevrons, nous vous le transmettrons.

## **B. DIMINUER LA DILUTION DES COV**

Une autre piste envisagée pour réduire la consommation de gaz est de diminuer la dilution des COV dans l'air à l'entrée de l'oxydateur. En effet, de cette manière la chaleur dégagée par la combustion des COV sera plus importante et donc moins de gaz sera nécessaire pour maintenir une température de 800°C.

### ***1. Concentrer l'arrivée des COV dans l'oxydateur***

Dans l'optique de diminuer la dilution des COV, nous avons envisagé la solution de les concentrer grâce à un système de stockage. Lors de notre rencontre avec Monsieur Le CREN, celui-ci nous a dit que des systèmes de stockage existent. Un système envisagé et fréquemment utilisé est une roue de stockage contenant du charbon actif. Le charbon actif est un adsorbant; il va donc "piéger" les COV à sa surface avant de les libérer sous l'effet de la température ou de la pression. Lors de cette phase -appelée désorption- les concentrations de phénol et de formol seront plus élevées pour entrer dans l'oxydateur.

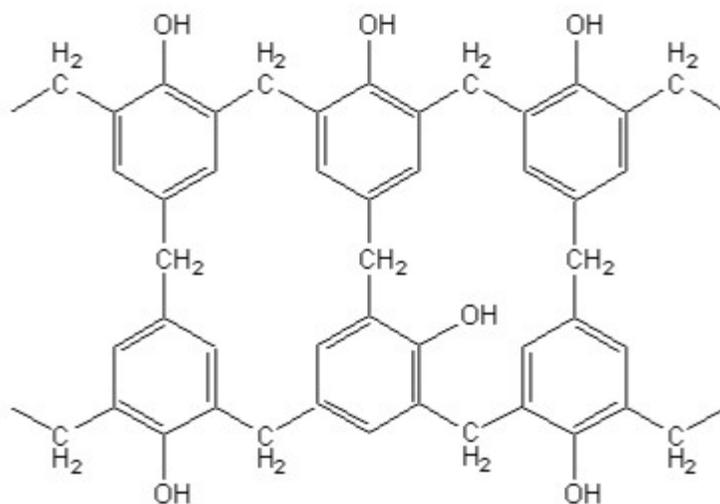


**Figure 24 : Schéma explicatif de la concentration des COV par adsorption**

Malheureusement, nous ne pouvons pas appliquer cette solution car l'usine de Conflans-Sainte-Honorine utilise des résines contenant du phénol et du formol, or, ces deux composés réagissent l'un sur l'autre à une température proche des 100°C par réaction de condensation - réaction entre deux molécules fonctionnelles qui s'accompagne généralement de l'élimination d'une molécule d'eau-. On obtient alors un polymère linéaire. A partir de ce polymère, on crée des liaisons covalentes entre les différents enchaînements. On crée alors un polymère tridimensionnel : la bakélite. Cette réticulation progressive diminue la solubilité et la souplesse du polymère jusqu'à obtenir un matériau insoluble et infusible.<sup>60</sup> Il s'agit d'un polymère thermodurcissable, c'est-à-dire présentant une irréversibilité thermique.<sup>61</sup>

<sup>60</sup> Cours d'HEI 3, année 2014 de Mme GHINET

<sup>61</sup> [http://www.societechimiquedefrance.fr/img/pdf/b\\_7\\_000\\_000.vfx2\\_sav.pdf](http://www.societechimiquedefrance.fr/img/pdf/b_7_000_000.vfx2_sav.pdf), consulté le 27/03/2014



**Figure 25 : Structure de la bakélite**

## **2. Diminuer l'air aspiré inutilement**

### **A. Précautions à prendre**

La LIE du phénol est de 1,8 % vol/vol, celle du formol de 7 % vol/vol et celle du méthane est de 5,3 % vol/vol.<sup>62</sup>

Pour respecter les règles de sécurité, il ne faut pas que le volume des COV arrivant à l'entrée de l'oxydateur soit supérieur à 25 % de la LIE du mélange.

Selon les données - datant de 1999- fournies par Saint-Gobain concernant le rejet de phénol et de formol de chaque poste (voir annexe 9), le mélange est composé de 43,3 % de phénol et de 56,7 % de formol.

<sup>62</sup> FDS de l'INRS de chacun des composés, consultées le 20/03/2014

La LIE du mélange se calcule grâce à la relation : 
$$L = \frac{100}{\frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2}} \quad (1)^{63}$$

où  $P_1$  et  $P_2$  sont les pourcentages de chacun des gaz combustibles présents dans le mélange et  $N_1$  et  $N_2$  sont les limites inférieures d'inflammabilité dans l'air de chacun des gaz pris isolément.

En effectuant le calcul, nous obtenons une LIE du mélange de 3,12 % vol/vol, ce qui représente 8 kg/m<sup>3</sup> de mélange. Nous pouvons donc en déduire que nous ne devons pas aspirer plus de 3,44 kg/m<sup>3</sup> de phénol et 4,56 kg/m<sup>3</sup> de formol.

## B. Capotage des machines

Une solution simple à mettre en œuvre et qui a déjà prouvé son efficacité sur d'autres sites clients d'Eisenmann est l'utilisation de capots. Cela permettrait d'aspirer seulement l'air pollué en isolant mieux la machine de l'air environnant ; seul l'air se trouvant à l'intérieur de la machine serait alors aspiré.

La première solution évoquée est d'installer des lamelles en plastique transparent.



**Figure 26 : Rideau à lamelles en plastique transparent (PVC)**

---

<sup>63</sup> Source : *Les mélanges explosifs* publiés par INRS en 1994

En effet, ces lamelles permettent de voir l'intérieur de la machine, ce qui est nécessaire pour les personnes travaillant sur les machines ou effectuant les maintenances. Cependant, il faut étudier le mode d'utilisation de chaque machine afin de mettre des capots qui soient en accord avec celui-ci afin de ne pas gêner les utilisateurs.

Une autre solution est un capot adapté à la forme de la machine comme sur la photo dans la figure 27 ci-après.



**Figure 27 : Exemple de capots pouvant être utilisés**

Ces capots ou rideaux transparents en lamelles sont souvent en PVC (Polychlorure de vinyle) et résistent mal à la chaleur. Si le rideau est dans une atmosphère supérieure à 70°C on installera en plus un tissu en fibre polyester, isolant de la chaleur.<sup>64</sup>

Lors de l'installation, il faut aussi tenir compte du fait que la concentration de COV à l'entrée de l'oxydateur ne doit pas dépasser le quart de la limite inférieure d'explosibilité (LIE) de chaque produit, soit 3,44 kg/m<sup>3</sup> de phénol et 4,56 kg/m<sup>3</sup> de formol.

Malheureusement, le gain est difficile à estimer pour cette technique. Nous n'avons pas eu le temps de faire des tests avec machines capotées, et machines non capotées.

---

<sup>64</sup> Entreprise Sinthylène

### **C. Procédure concernant les clapets sur les machines**

Chaque machine est équipée de clapets qui sont ouverts lorsque la machine est en cours d'utilisation afin de permettre l'aspiration de l'air pollué. Ces clapets doivent aussi être fermés lorsque la machine ne fonctionne pas afin de ne pas aspirer d'air inutilement.

Lors de notre deuxième visite chez Saint-Gobain Abrasives, nous avons appris que les clapets étaient ouverts et fermés automatiquement lors du démarrage et de l'arrêt de la machine concernée. Nous ne pouvons donc pas modifier ce paramètre car il est géré par un automate et empêche donc l'erreur humaine qui aurait nécessité la rédaction de procédures.

Cependant, certains dysfonctionnements ont été signalés (non fermeture des clapets notamment). Ces dysfonctionnements ont été imputés au dépôt noir qui se forme dans les canalisations.

L'entretien des clapets est fait annuellement à l'occasion d'une maintenance spécifique assurée par une entreprise extérieure à Saint-Gobain.

### ***3. Diminuer l'aspiration des ventilateurs***

La première façon de diminuer l'air aspiré inutilement en jouant sur les ventilateurs a déjà été évoquée précédemment. En effet, les ventilateurs ont une régulation à pertes de charges linéaires. L'installation de capots -en plus de mieux isoler la machine de l'air environnant-présente également l'avantage d'augmenter les pertes de charge à l'intérieur de ces machines et donc de diminuer le débit d'air aspiré.

Un autre moyen qui peut être envisagé pour diminuer l'air aspiré inutilement lors de la fabrication des abrasifs est de diminuer l'aspiration des ventilateurs. Pour cela, la méthode la plus simple à mettre en place est de réduire la vitesse de fonctionnement des moteurs des ventilateurs.

Pour cela, une première solution est de placer un système permettant d'étrangler l'entrée des ventilateurs. De cette manière, il y aura moins d'air aspiré. Cependant, cette méthode va entraîner une surchauffe du moteur, ce qui peut lui occasionner une usure accélérée et donc des maintenances/remplacements plus fréquents.

Une autre solution envisageable -uniquement si les moteurs des ventilateurs sont équipés de courroies- est d'augmenter la taille des poulies. En augmentant la taille des poulies, nous allons pouvoir diminuer la vitesse de fonctionnement du moteur et donc le débit d'air aspiré. En effet, la vitesse des moteurs de ventilateurs (et donc le débit d'air aspiré) est directement liée à la taille des poulies entraînant les courroies ; plus les poulies sont grandes, plus la vitesse du moteur est petite.

La dernière solution que nous avons envisagée est plus coûteuse. En effet, il s'agit de l'installation d'un variateur de fréquence/vitesse sur les moteurs des ventilateurs. Un variateur de vitesse est un équipement électrotechnique alimentant un moteur électrique de façon à pouvoir faire varier sa vitesse de manière continue, de l'arrêt jusqu'à sa vitesse nominale.<sup>65</sup> De cette manière, on peut contrôler de manière précise la vitesse des moteurs des ventilateurs.

Pour vous donner un ordre de prix, le variateur de fréquence présenté en figure 28 et dont les spécifications techniques sont présentées en annexe 12. Ce type de variateur coûte environ 500€.<sup>66</sup> Ce modèle est présenté à titre d'exemple. Le modèle choisi devra bien sûr être adapté aux équipements dont dispose l'usine de Conflans-Sainte-Honorine. Plusieurs sociétés telles que Siemens, Lenze, Demag peuvent être contactées pour avoir un devis d'appareils adaptés aux ventilateurs de l'usine.



**Figure 28 : Exemple de variateur de fréquence envisageable**

<sup>65</sup> [http://bouassida.netai.net/web\\_documents/6\\_actionneurs\\_de\\_r\\_gulation\\_variateur.pdf](http://bouassida.netai.net/web_documents/6_actionneurs_de_r_gulation_variateur.pdf), consulté le 07/04/2014

<sup>66</sup> <http://radiospares-fr.rs-online.com/web/p/variateurs-de-frequence/0385118/>, consulté le 07/04/2014

#### 4. Evolution de la consommation de gaz

Nous pouvons estimer la consommation de gaz utilisé par les oxydateurs grâce à la relation (2):

$$q_{\text{gaz}} * PCI_{\text{gaz}} + q_{\text{phénol}} * PCI_{\text{phénol}} + q_{\text{formol}} * PCI_{\text{formol}} = q_{\text{air}} * C_{p_{\text{air}}} * DT \quad (2)$$

Cette relation devient donc : 
$$\frac{q_{\text{air}} * C_{p_{\text{air}}} * DT - q_{\text{phénol}} * PCI_{\text{phénol}} - q_{\text{formol}} * PCI_{\text{formol}}}{PCI_{\text{gaz}}}$$

En effet, comme nous avons vu dans la description du fonctionnement de l'oxydateur, les vapeurs de formol et de phénol dégagent de la chaleur lors de leur combustion permettant d'augmenter la température dans la chambre de combustion et ainsi de garder une température de 800°C en consommant moins de gaz.

L'oxydateur est alimenté en gaz naturel qui est essentiellement composé de méthane dont le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) est de 850 kJ/mol.<sup>67</sup> Cependant, cette valeur varie en fonction de la composition du gaz naturel distribué.

Les chaleurs de combustion du phénol et du formol sont respectivement de 3058 kJ/mol et de 564 kJ/mol.<sup>68</sup>

De plus, lors de notre rencontre avec Monsieur Le CREN, celui-ci nous a dit que la différence de température entre l'entrée et la sortie de l'oxydateur est typiquement de 50°C.

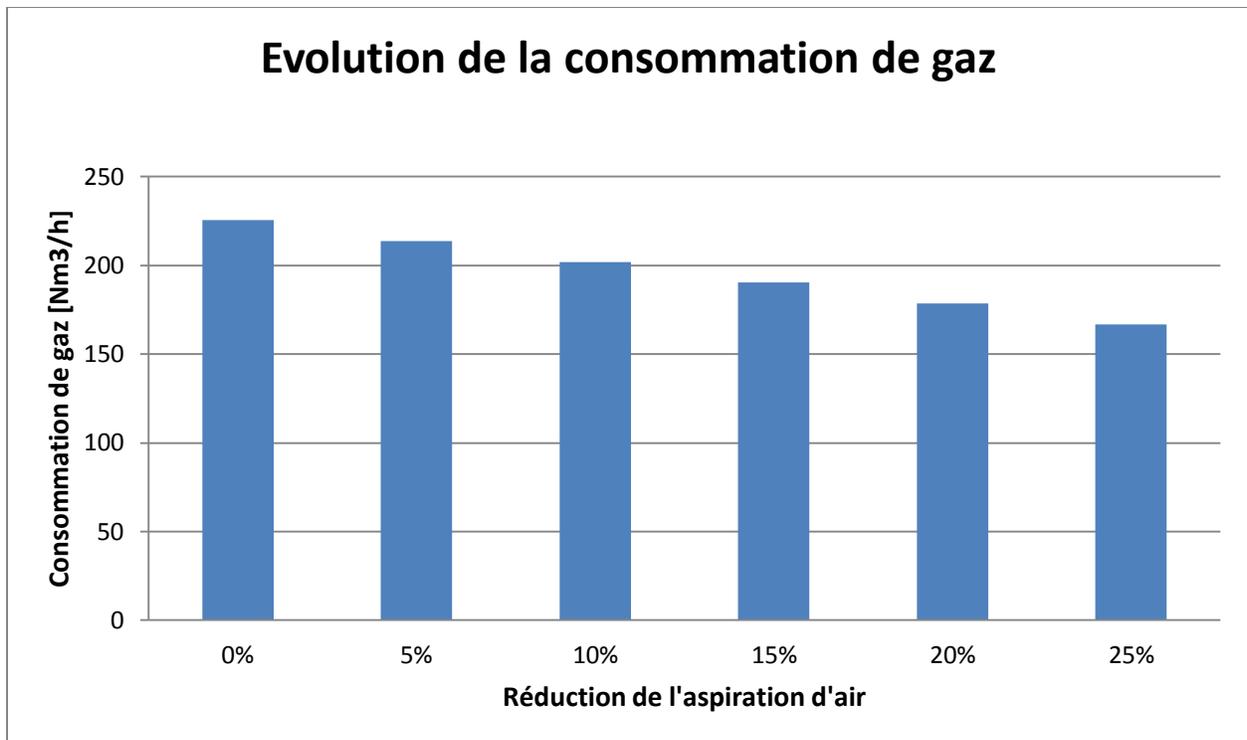
A la sortie de la LAT et de la machine 62", les débits de phénol et de formol sont respectivement de 1,45 Nm<sup>3</sup>/h et de 5,98 Nm<sup>3</sup>/h, conformément aux relevés fournis qui datent de 1999 (voir annexe 11).

Comme nous le voyons sur la figure 29, lorsque nous diminuons la quantité d'air aspiré nous diminuons également la consommation de gaz.

---

<sup>67</sup> [http://gilbert.gastebois.pagesperso-orange.fr/donnees/cstes\\_therm\\_org.htm](http://gilbert.gastebois.pagesperso-orange.fr/donnees/cstes_therm_org.htm), consulté le 27/03/2014

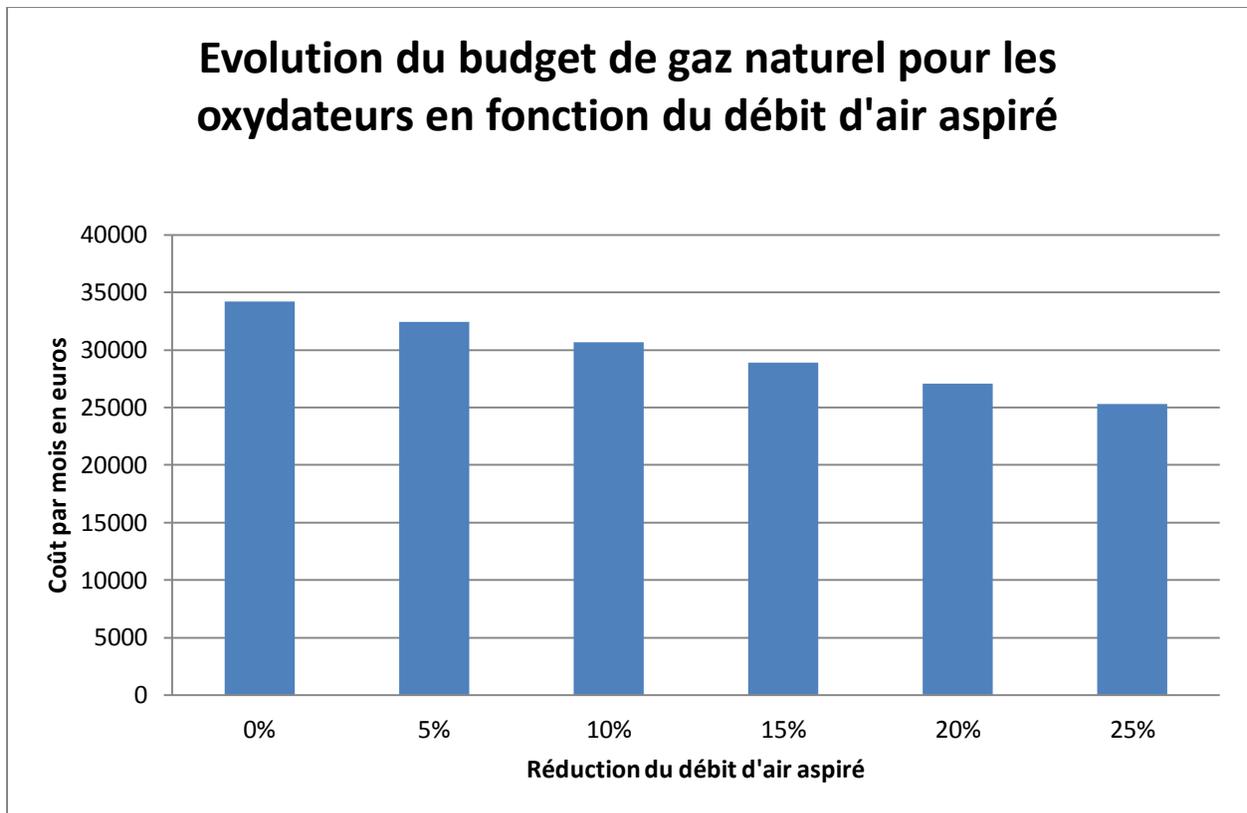
<sup>68</sup> <http://www.epa.gov/ttnchie1/le/formal.pdf>, consulté le 03/04/2014



**Figure 29 : Evolution de la consommation de gaz en fonction de la réduction du débit d'air aspiré avec les données de 1999**

D'après les données fournies par l'usine de Conflans-Sainte-Honorine, le prix du MWh de gaz naturel est facturé environ 30€.

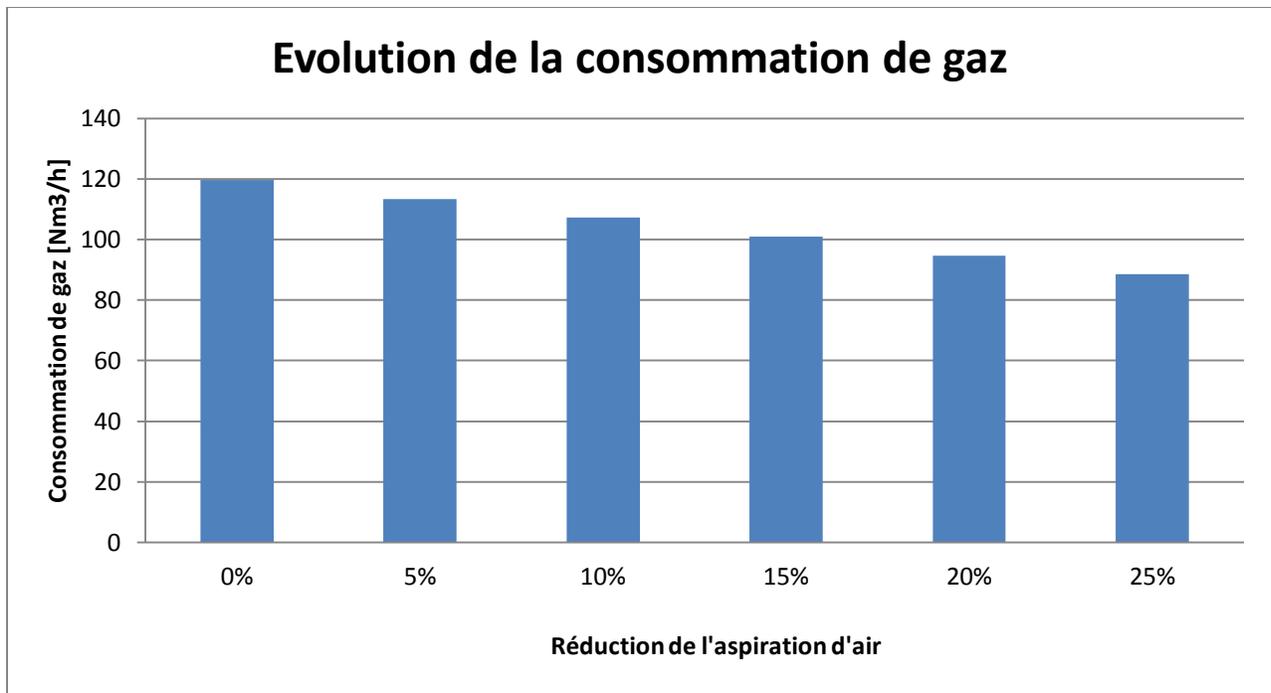
Avec ces données, nous pouvons voir que si nous arrivons à réduire le débit d'air aspiré de 10%, nous sommes en mesure de réduire la facture de gaz naturel d'environ 3500€ par mois.



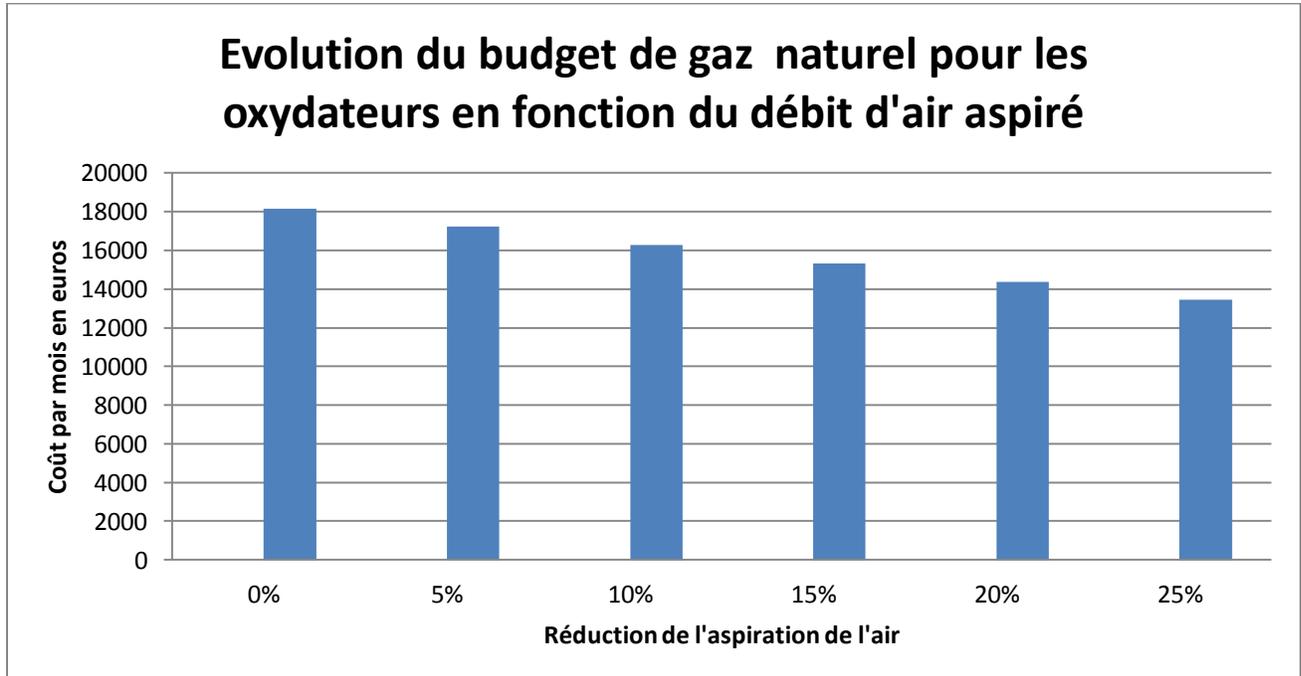
**Figure 30 : Evolution du budget de gaz naturel pour les oxydateurs en fonction du débit d'air aspiré avec les données de 1999**

Cependant, nous avons remarqué que les débits d'air entrant dans l'oxydateur du relevé de 1999 et des mesures de Veritas sont différents. En effet, dans les données fournies dans les mesures effectuées par Veritas, nous avons un débit d'air entrant dans l'oxydateur de 63100 Nm<sup>3</sup>/h et non de 118887 Nm<sup>3</sup>/h comme indiqué sur le relevé de 1999.

En considérant que les débits de phénol et de formol ont subi une baisse proportionnelle à celle qu'a subi le débit d'air, soit un débit de phénol de 0,769 Nm<sup>3</sup>/h et un débit de formol de 3,177 Nm<sup>3</sup>/h, nous obtenons une évolution de la consommation de gaz. (Voir la figure 31 ci-dessous)



**Figure 31 : Evolution de la consommation de gaz en fonction du débit d'air aspiré avec les nouveaux débits**



**Figure 32 : Evolution du budget de gaz naturel pour les oxydateurs en fonction du débit d'air aspiré avec les nouveaux débits**

Avec ces données, nous pouvons voir que si nous réduisons le débit d'air aspiré de 10 %, nous réalisons une économie d'environ 1900€ par mois.

### **C. MODIFIER LA REGULATION DE L'OXYDATEUR**

Actuellement, l'usine de Saint-Gobain Abrasifs de Conflans-Sainte-Honorine, doit redémarrer l'oxydateur le dimanche afin que celui-ci soit opérationnel le lundi matin pour la production. Les informations fournies par Monsieur BOUYRIE nous apprennent que du personnel est déployé le dimanche après-midi à 17 heures afin de redémarrer l'oxydateur qui sera opérationnel (température de 800°C atteinte) à 22 heures. L'oxydateur fonctionne et consomme du gaz inutilement du dimanche 22 heures jusqu'au lundi 6 heures. Pour éliminer cette source de gaspillage, on pourrait installer un système de démarrage automatique. En effet, celui-ci pourrait prévoir un redémarrage de l'oxydateur dans la nuit de lundi à dimanche, ce qui permettrait de ne pas utiliser de gaz inutilement tout en ayant un oxydateur prêt à fonctionner le lundi matin. Cependant, après notre réunion avec Monsieur Le CREN (représentant de la société Eisenmann) nous avons appris que cette solution était envisageable uniquement si l'usine Saint-Gobain installait un nouvel automate. En effet, l'automate qui est utilisé actuellement est trop ancien (il a été installé il y a plus de 10 ans). Ainsi il ne peut plus faire l'objet de modifications de la part d'Eisenmann. Cette solution n'est donc pas écartée mais ne peut pas être réalisée actuellement. En attendant la mise en place de cet automate, il est possible de faire venir un électricien à 2h du matin afin de démarrer l'oxydateur pour que celui-ci soit opérationnel à 6h du matin et pas avant.

Le salaire de l'électricien pour son travail entre vingt heures et six heures du matin sera majoré de 10 %.<sup>69</sup>

Si on considère que l'électricien est payé au SMIC soit 1435,38€ brut/ mois,<sup>70</sup> soit environ 10,32€ de l'heure, cela reviendrait à environ 45€ pour le travail effectué entre deux heures et six heures.

---

<sup>69</sup>[http://www.legifrance.gouv.fr/affichIDCC.do;jsessionid=B7F547FCE0FEC83F3E056B05EBC7B7E4.tpdj\\_o10v\\_2?idSectionTA=KALISCTA000005741247&cidTexte=KALITEXT000005658612&idConvention=KALICONT000005635685&dateTexte=29990101](http://www.legifrance.gouv.fr/affichIDCC.do;jsessionid=B7F547FCE0FEC83F3E056B05EBC7B7E4.tpdj_o10v_2?idSectionTA=KALISCTA000005741247&cidTexte=KALITEXT000005658612&idConvention=KALICONT000005635685&dateTexte=29990101), consulté le 07/04/2014

<sup>70</sup>[http://www.urssaf.fr/employeurs/baremes/baremes/valeurs\\_du\\_smic\\_01.html](http://www.urssaf.fr/employeurs/baremes/baremes/valeurs_du_smic_01.html), consulté le 07/04/2014

Avec les données relevées en 1999, si l'oxydateur tourne pendant 4 heures au lieu de 12 heures, une économie de 1804 Nm<sup>3</sup> par week-end de gaz naturel sera effectuée. Cela représente une économie d'environ 570€ par week-end. En comptant le salaire de l'électricien, l'économie réalisée est de 525€ par week-end.

Avec les données extrapolées du relevé de Veritas, l'économie de gaz naturel est estimée à 957 Nm<sup>3</sup> de gaz naturel par week-end. Cette économie de gaz représente un gain d'environ 300€ par semaine qui est réduite à environ 260€.

Au vu de ces chiffres, il semble donc intéressant pour l'usine Saint-Gobain de Conflans-Sainte-Honorine de faire venir l'électricien dans la nuit (vers deux heures) plutôt que de démarrer l'oxydateur à dix-huit heures et de le laisser fonctionner inutilement toute la nuit.

De plus, Monsieur BOUYRIE nous a également fait remarquer qu'un cycle de refroidissement était nécessaire lors de l'arrêt pendant le week-end et que cela représentait également un gaspillage d'énergie. Nous avons alors interrogé Monsieur Le CREN sur ce sujet. Il nous a dit que ce cycle de refroidissement est nécessaire uniquement pendant 2 heures afin de purger l'oxydateur avant que celui ne soit arrêté. Mais une fois ce laps de temps écoulé, on peut arrêter le refroidissement et juste laisser tourner le rotor afin que celui-ci ne se déforme pas à cause de la variation de température.

Nous avons alors demandé une réactualisation du devis de l'automate en intégrant la gestion automatique du cycle de refroidissement. Cependant, Monsieur Le CREN ne peut pas nous fournir cette nouvelle version avant la fin du mois d'avril. Toutefois, en nous basant sur le devis déjà effectué en 2012 (voir annexe 13) et en considérant que les oxydateurs consomment entre 120 et 225 Nm<sup>3</sup> de gaz naturel par heure, soit entre 18 000€ et 34 000€ par mois nous pouvons estimer que cet automate sera rentabilisé d'ici 2 à 4 ans.

# VI. PRECONISATIONS

---

## A. INSTALLATION D'ANALYSEURS D'AIR

Nous préconisons l'installation d'analyseurs d'air à la sortie de la LAT mais aussi à la sortie de l'oxydateur. Ces analyseurs devront être équipés d'enregistreurs afin de pouvoir garder en archives les mesures effectuées. Cette solution permettra d'effectuer des relevés d'air en fonction des produits fabriqués mais aussi en fonction de la température de fonctionnement de l'oxydateur. Ces mesures pourront être utilisées lors de la refonte de l'arrêté préfectoral.

L'analyseur à la sortie de LAT pourra permettre d'identifier les matériaux dont la fabrication nécessite la mise en marche de l'oxydateur et les abrasifs pour lesquels le démarrage de l'oxydateur n'est pas nécessaire.

L'analyseur placé à la sortie de l'oxydateur pourra permettre de vérifier à chaque moment que l'usine respecte les normes de rejet, notamment si Saint-Gobain Abrasives effectue des tests en diminuant progressivement la température de fonctionnement de l'oxydateur tout en restant à une température supérieure à 650°C.

## B. INSTALLATION DE CAPOTS

Une autre solution envisageable est l'installation de capots ou de rideaux industriels en plastique.

Suivant la température de fonctionnement des machines sur lesquelles cette installation sera placée, il sera peut-être nécessaire d'envisager un autre type de rideau. En effet, les rideaux transparents de type lanières ne supportent pas une température supérieure à 70°C.

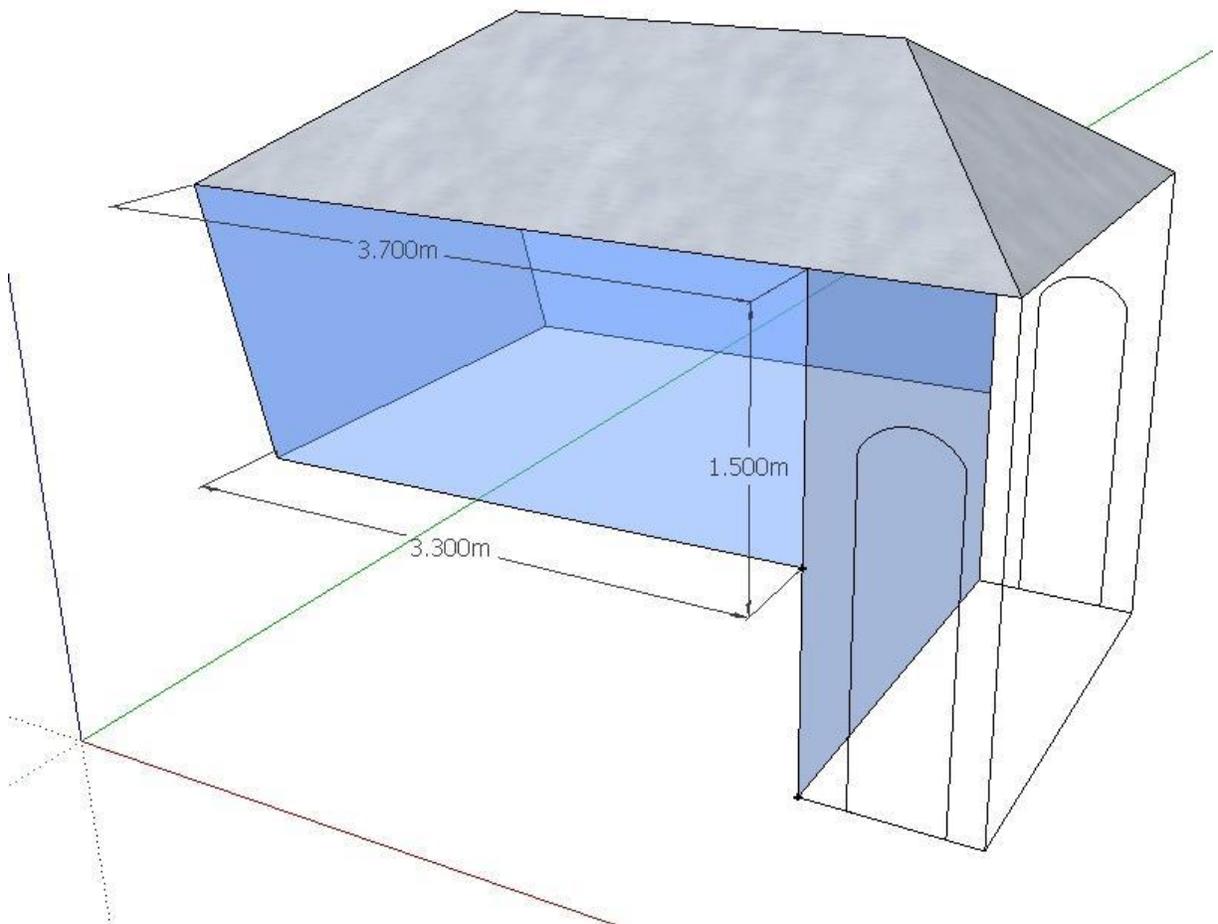
Si la température de la machine est supérieure à 70°C, il faudra prévoir l'installation d'un tissu polyester haute ténacité. (Voir devis de Sinthylène en annexe 14).

En annexe, sont présentés les deux devis effectués par Sinthylène. Le premier devis (voir

annexe 14) a été effectué avant notre deuxième visite chez Saint-Gobain, donc avant la prise de mesures des machines.

Le second devis (voir annexe 15), est celui effectué avec les mesures relevées lors de notre deuxième visite et donne une estimation des coûts de capotage à trois endroits sur la LAT

Voici quelques-uns des schémas envoyés à l'entreprise Sinthylène afin qu'ils puissent faire un devis. Sur ces schémas, le rideau isolant est de couleur bleu translucide.



**Figure 33 : Schéma de capotage de la machine 1 de la LAT**

D'autres schémas de différentes vues sont disponibles en annexe 16. Tous ces schémas ont été dessinés avec *Sketchup* (logiciel de modélisation 3D).

Cette machine correspond en réalité à l'endroit de l'usine photographié (voir figures 34).

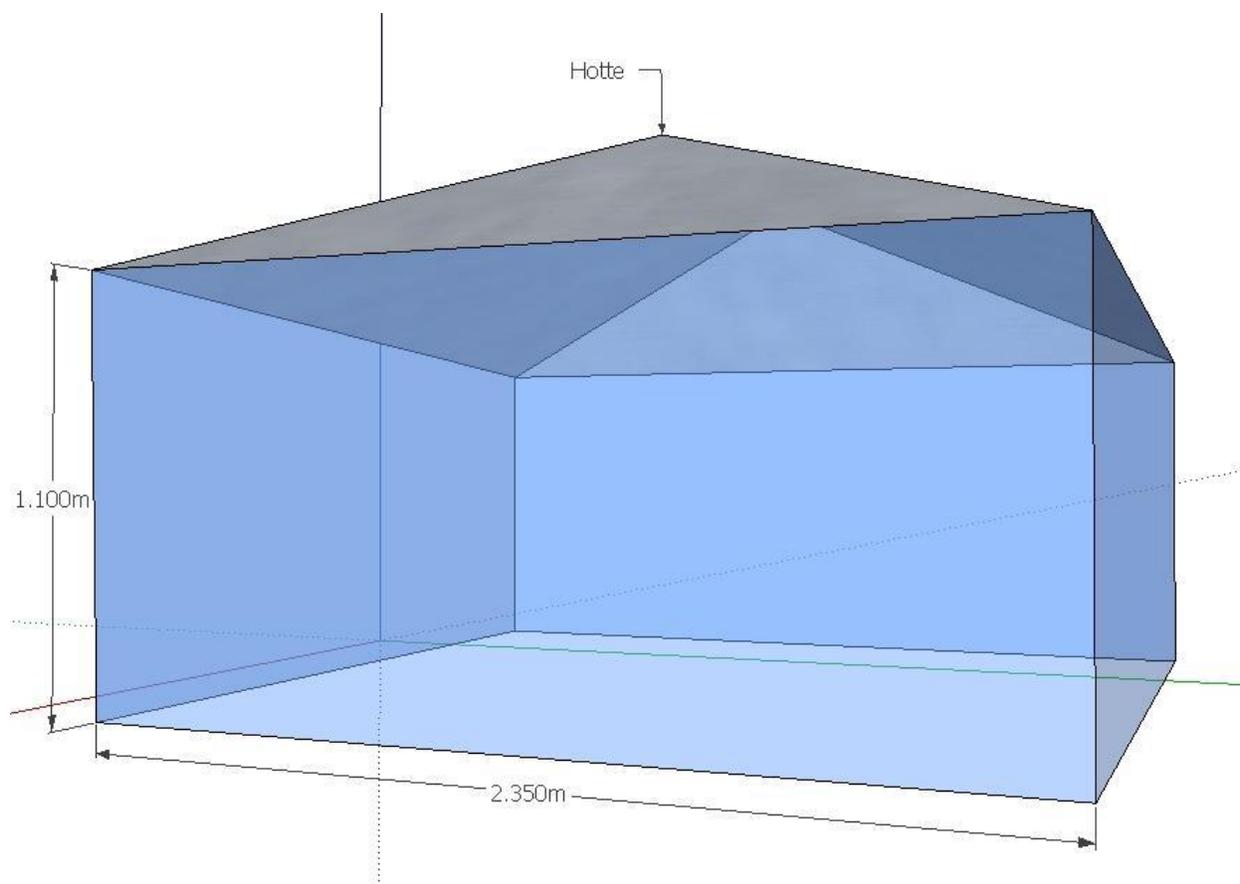


**Figure 34 : Photographies de la machine 1 de la LAT**

On peut voir sur la figure 34 qu'à cet endroit de la LAT, un rideau en plastique transparent était déjà mis en place. On peut remarquer qu'il manque une lamelle, et que les lamelles qui restent sont abîmées et sales (elles ne sont plus transparentes). Le fait qu'il manque une lamelle compromet fortement l'efficacité du rideau qui est sensé isoler la machine de l'air extérieur. C'est pourquoi il serait intéressant de remplacer ce dispositif par un dispositif neuf (voir annexe

15 : devis de Sinthylène).

Le “nouveau” rideau a une forme quelque peu différente de celui déjà existant. Il est fermé après le dernier gros rouleau sur lequel passe la toile. Ainsi la “passerelle” entre les deux portes de plastique actuelles ne serait plus dans le champ d’aspiration de la hotte.



**Figure 35 : Schéma de capotage de la machine 2 de la LAT**

D’autres schémas de différentes vues sont disponibles en annexe 16.

Cette machine correspond en réalité à l’endroit de l’usine photographié sur la figure 36.



**Figure 36 : Photographies de la machine 2 de la LAT**

Un schéma d'une autre vue de la machine est disponible en annexe 16.





**Figure 37 : Photographies de la machine 3 de la LAT**

En plus de l'aspect technique qu'apporterait cette solution, un confort de travail serait également apporté aux opérateurs de la LAT. En effet, les résines utilisées pour la fabrication de certains matériaux abrasifs ont une odeur forte et désagréable. Ces protections permettraient de cantonner ces odeurs dans une zone assez restreinte qui irait de la machine à la hotte.

### **C. PROCEDURE POUR LA FERMETURE DES CLAPETS**

L'usine de Conflans-Sainte-Honorine est équipée d'un système d'ouverture et de fermeture automatique des clapets qui permet l'aspiration de l'air pollué afin de l'envoyer vers l'oxydateur pour être traité. Cela étant géré de manière automatique, nous ne pouvons pas préconiser la rédaction de procédures relatives à ces clapets.

Néanmoins, quelques problèmes sont parfois rencontrés. Un clapet peut se bloquer, ce qui provoquerait alors l'impossibilité de le fermer ou de l'ouvrir au maximum. Le blocage des clapets est signalé par une alarme.

Pour éviter le dépôt qui gêne la fermeture des clapets, il pourrait être intéressant d'effectuer un

nettoyage des clapets et des canalisations quand on passe d'une fabrication de produits contenant du formol à une fabrication de produits contenant du phénol. En effet, cela pourrait éviter la formation de dépôt (bakélite) qui gênerait la fermeture ou l'ouverture des clapets, ce qui pourrait également diminuer la quantité d'air aspiré inutilement mais aussi éviter que l'air pollué ne soit pas aspiré et donc que les opérateurs soient en contact avec l'air chargé de phénol et de formol.

## **D. INSTALLATION D'UN NOUVEL AUTOMATE**

Comme expliqué précédemment, actuellement l'usine a un rythme de travail de trois-huit avec un arrêt le week-end. L'oxydateur est donc éteint du vendredi soir au dimanche soir, pour un redémarrage à 18h le dimanche (nécessitant la venue d'un électricien d'astreinte). L'oxydateur mettant quatre heures à chauffer afin d'être opérationnel, il est donc prêt à être utilisé à 22 heures, mais la production ne reprend qu'à 6h le lundi matin. Il donc allumé huit heures trop tôt.

Afin d'éviter le déplacement d'un opérateur le dimanche soir, il serait intéressant de pouvoir rendre ce redémarrage automatique, d'où la proposition d'un automate de régulation du fonctionnement de l'oxydateur.

L'autre intérêt de l'installation de cet automate concerne l'arrêt de l'oxydateur. En effet, un cycle de refroidissement (ou cycle de purge) est mis en route pendant la durée de l'arrêt (le plus souvent tout le week-end). Mais, lors de notre rencontre avec Monsieur Le CREN, nous avons appris que ce cycle de purge était nécessaire uniquement durant les deux heures suivant l'arrêt de l'oxydateur. Une fois ce cycle de purge arrêté, il faut laisser tourner le rotor de l'oxydateur tout le week-end pour éviter qu'il ne se déforme.

Le fait de laisser le cycle de refroidissement actif durant tout le week-end (comme c'est le cas actuellement) est donc inutile.

De plus, comme le cycle de refroidissement est actif tout le week-end, l'oxydateur se refroidit totalement pour atteindre la température extérieure. Avec un cycle de refroidissement d'une durée de deux heures, la température de l'oxydateur pourrait ne pas autant diminuer, et ainsi un

gain de temps au moment du rallumage pourrait également être réalisé. La consommation de gaz pour la mise à température de fonctionnement de l'oxydateur serait ainsi diminuée.

Nous avons parlé de cette solution à Monsieur BOUYRIE qui a convenu que cette solution pourrait être intéressante. Monsieur BOUYRIE et son équipe vont donc effectuer sur deux week-ends des tests (avec relevé de compteur de gaz au début du week-end et à la fin du week-end) afin de voir quel pourrait être le gain en consommation de gaz d'un raccourcissement du cycle de purge.

Par la suite, ce délai de deux heures avant l'arrêt du cycle de purge pourrait être inclus dans la programmation de l'automate. Cela permettrait d'éviter le déplacement d'une personne pour effectuer cette action.

Vous trouverez dans l'annexe 13 un devis datant de 2012 fait par l'entreprise Eisenmann proposant l'installation d'un automate. Ce devis n'étant plus actuel, nous avons demandé à Monsieur Le CREN de le réactualiser. Au jour de la remise du rapport, le devis réactualisé n'étant pas encore prêt, il sera transmis à Saint-Gobain et à Monsieur BOUYRIE par Monsieur Le CREN ou par l'équipe d'EWP.

# CONCLUSIONS

---

Certaines pistes d'amélioration qui pouvaient paraître simples au début du projet ne l'étaient pas en réalité. Citons cet exemple : les rejets de l'oxydateur étaient très inférieurs à la législation, on pouvait penser baisser la température de l'oxydateur afin de consommer moins de gaz et ainsi remonter le taux de COV rejeté mais sans atteindre la limite d'émission de COV dans l'atmosphère.

Cette solution s'est avérée non réalisable. En effet, un arrêté préfectoral impose le fonctionnement de l'oxydateur à 800°C en permanence. Nous ne pouvions donc pas descendre en dessous de cette température sans être "hors la loi".

Cet EWP, à l'image de cette expérience, nous a montré que ce qui peut paraître "facile" au premier abord, ne l'était pas en réalité. Nous savons maintenant qu'il faut toujours faire des recherches vastes et exhaustives sur un sujet avant toute proposition, sans quoi elle ne seraient pas réalisables ou pas efficaces.

Néanmoins, nous avons réussi à faire des recherches assez conséquentes sur le sujet. Ces recherches nous ont apportées un bagage de connaissances techniques, ainsi qu'en matière de sécurité et d'environnement; afin de pouvoir trouver quelques propositions à formuler à Saint-Gobain Abrasives.

Cet EWP fut pour nous une occasion unique d'être au contact de professionnels, d'être au cœur de l'entreprise par nos deux visites d'usine, d'avoir une approche d'un processus de fabrication que nous ne connaissions pas auparavant. Le projet nous a beaucoup plu et c'est avec enthousiasme que nous avons travaillé durant ces 11 semaines. Nous avons une entière autonomie sur notre démarche, tout en ayant toujours l'avis éclairé de notre Project Leader madame GHINET. Ce projet est une très bonne expérience pour notre vie professionnelle à venir.

# PERSPECTIVES

---

Dans cette partie, vous trouverez les différentes tâches sur les sujets évoqués précédemment, que nous aurions engagées si nous avions eu quelques semaines de plus pour réaliser cet EWP. Ces perspectives auraient pu confirmer, ou infirmer nos préconisations.

Par manque de temps, nous n'avons pas pu effectuer à l'usine des mesures de qualité de l'air indiquées dans la partie préconisations de ce rapport.

C'est pourquoi, nous pensons qu'il faudrait d'abord installer les analyseurs d'air. De cette manière, certains tests (notamment avec différentes températures de fonctionnement de l'oxydateur) pourraient être effectués.

Nous préconisons également l'installation des lamelles ou des en plastiques rideaux (de même types que ceux proposés par Sinthylène dans l'annexe 15).

Ainsi grâce à ces analyseurs, nous pourrions également évaluer l'impact de l'installation de rideaux ou de lamelles en PVC sur le débit d'air et également sur la concentration des COV entrants dans l'oxydateur.

Une atmosphère de travail plus agréable (si l'odeur des vapeurs est moins présente dans l'usine) pourrait aussi potentiellement être observée.

Une fois ces deux solutions installées, l'entreprise pourra également évaluer la quantité de COV rejetées par les différents produits en fabrication sur la LAT. Tous ces relevés pourront être utilisés dans le projet de refonte de l'arrêté préfectoral.

En parallèle, les différents tests (concernant l'influence de la réduction du temps de cycle de purge et sur le temps nécessaire au redémarrage de l'oxydateur) menés par Monsieur BOUYRIE seraient à être réalisés à plusieurs reprises afin d'avoir des données relativement fiables, puis les données seraient exploitées pour pouvoir quantifier le gain obtenu avec l'apport de cette modification sur le temps de purge.

# BIBLIOGRAPHIE

---

## Ouvrages :

- *Les mélanges explosifs* publié par INRS en 1994

## Articles scientifiques :

- *Phenol. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans.* **1999**, 71, 749-767
- *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **2008**, 22, 257-260
- *Chemico-Biological Interactions.* **2010**, 184, 189-195
- *Aquatic Toxicology.* **1999**, 46, 253-268
- *Environmental and Molecular Mutagenesis.* **2012**, 53, 478-487
- *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **1999**, 63, 195-202
- Byrne, Paul James. *World Intellectual Property Organization International Bureau.* **2006**, 59-3, 11-47
- *American Journal of Pharmacology and Toxicology* 4. **2009**, 3, 98-106
- *Environmental and Molecular Mutagenesis.* **2010**, 51, 181-191
- Jean-Louis Douzet, Abrasifs, « *Techniques de l'ingénieur* », publié le 10/08/1990

### **Sites internet :**

- **Saint-Gobain Abrasives.** [en ligne]  
<<http://www.saint-gobain-abrasives.com/>>, (consulté le 10.02.2014)
  
- **Google Maps.** [en ligne]  
<<https://www.google.fr/maps/place/Conflans-Sainte-Honorine/@47.3310922,2.9560791,6z/data=!4m2!3m1!1s0x47e68a9871beeb7b0x40b82c3688c41b0>>, (consulté le 05/03/2014)
  
- **Sia Abrasives** [en ligne]  
<<http://www.sia-abrasives.com/>>, (consulté le 20/02/2014)
  
- **3M** [en ligne]  
<[http://solutions.3mfrance.fr/wps/portal/3M/fr\\_FR/Abrasive Systems/-/](http://solutions.3mfrance.fr/wps/portal/3M/fr_FR/Abrasive_Systems/-/)>, (consulté le 20/02/2014)
  
- **Wikipedia** [en ligne]  
<<https://fr.wikipedia.org/wiki/3M>>, (consulté le 20/02/2014)  
<[https://fr.wikipedia.org/wiki/General\\_Electric](https://fr.wikipedia.org/wiki/General_Electric)>, (consulté le 20/02/2014)  
<<http://fr.wikipedia.org/wiki/Corindon>>, (consulté le 07/04/2014)  
<[http://de.wikipedia.org/wiki/Eisenmann\\_AG](http://de.wikipedia.org/wiki/Eisenmann_AG)> (consulté le 20/03/2014)  
<<http://fr.wikipedia.org/wiki/Combustion>>, (consulté 11/03/2014)
  
- **Sandvik** [en ligne]  
<<http://www.diamondinnovations.com/en/Pages/home.aspx>>, (consulté le 20/02/2014)
  
- **Otelo** [en ligne]  
<<http://outillage.otelo.fr/documents/les-abrasifs-appliques/36.html>>
  
- **Elbe Abrasives** [en ligne]  
<<http://www.elbe-abrasives.com/fr/produits/meules-traditionnelles/types-de-liant.html>> ,

(consulté le 03/03/2014)

- **Diametal** [en ligne]  
<[http://www.diametal.ch/index.php?option=com\\_content&view=article&id=18&Itemid=17&lang=fr](http://www.diametal.ch/index.php?option=com_content&view=article&id=18&Itemid=17&lang=fr)>, (consulté le 04/04/2014)
- **Académie de Montpellier** [en ligne]  
<<http://webpeda.ac-montpellier.fr/wspc/ABCDORGA/Famille/Polymere.htm#urée-formol>>, (consulté le 28/03/2014)
- **Wijhuis IngenieursBureau** [en ligne]  
<<http://www.wijhuis.be/fr/advertenties1/1.pdf>>, (consulté le 07/04/2014)
- **Usine Nouvelle** [en ligne]  
<<http://www.usinenouvelle.com/expo/meule-caoutchouc-buffl-p272569.html#ficheTechnique>>, (consulté le 07/04/2014)
- **VSM** [en ligne]  
<[http://www.vsmimpavide.fr/Gamme\\_d\\_abrasifs.htm](http://www.vsmimpavide.fr/Gamme_d_abrasifs.htm)>, (consulté le 04/04/14)
- **LegrandCub** [en ligne]  
<<http://www.legrandcub.fr/fichiers/ABRASIF/INFORMATIONS%20TECHNIQUES/ABRASIFS%20APPLIQUES.pdf>>, (consulté le 28/02/2014)
- **Solo Stocks** [en ligne]  
<<http://www.solostocks.ma/vente-produits/mineraux-non-metalliques/silice/le-carbure-de-silicium-1652282>>, (consulté le 31/03/2014)
- **Lenntech** [en ligne]  
<<http://www.lenntech.fr/phenol-environnement.htm>>, (consulté le 06/03/2014)
- **Classes préparatoires Faidherbe** [en ligne]  
<<http://www.faidherbe.org/site/cours/dupuis/phenolsd.htm>>, (consulté le 12/02/2014)

- **Anses** [en ligne]  
<<http://www.anses.fr/fr/content/les-produits-biocides>>, (consulté le 03/04/2014)
  
- **Fagron** [en ligne]  
<[http://www.fagron.fr/cms\\_files/N-52709-frFile1.pdf](http://www.fagron.fr/cms_files/N-52709-frFile1.pdf)>
  
- **INRS** [en ligne]  
<<http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2015>>
  
- **LegiFrance** [en ligne]  
<<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?idArticle=LEGIARTI000025858806&idSectionTA=LEGISCTA000018530560&cidTexte=LEGITEXT00006072050&dateTexte=20140331>>, (consulté le 28/03/2014)  
<[http://www.legifrance.gouv.fr/affichIDCC.do;jsessionid=B7F547FCE0FEC83F3E056B05EBC7B7E4.tpdjo10v\\_2?idSectionTA=KALISCTA000005741247&cidTexte=KALITEXT000005658612&idConvention=KALICONT000005635685&dateTexte=29990101](http://www.legifrance.gouv.fr/affichIDCC.do;jsessionid=B7F547FCE0FEC83F3E056B05EBC7B7E4.tpdjo10v_2?idSectionTA=KALISCTA000005741247&cidTexte=KALITEXT000005658612&idConvention=KALICONT000005635685&dateTexte=29990101)>, (consulté le 07/04/2014)
  
- **EUR Lex** [en ligne]  
<<http://eur-lex.europa.eu/>>, (consulté le 28/03/2014)
  
- **Ineris** [en ligne] <<http://www.ineris.fr/aida/>>, (consulté le 28/03/2014)
  
- **Ministère du développement durable** [en ligne]  
<[http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/VGAI\\_formaldehyde.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/VGAI_formaldehyde.pdf)>, (consulté le 07/04/2014)
  
- **Geopolymer Institute** [en ligne]  
<<http://www.geopolymer.org/fr/science/introduction>>, (consulté le 07/04/2014)
  
- **Innovatech** [en ligne]  
<[http://www.innovatech.be/upload/espace\\_innovation/Dossiers/dossier\\_de\\_presse\\_Geogrind.pdf](http://www.innovatech.be/upload/espace_innovation/Dossiers/dossier_de_presse_Geogrind.pdf)>, (consulté le 17/02/2014)

- **Eisenmann** [en ligne]  
<<http://www.eisenmann.com/>> (consulté le 20/03/2014)
  
- **ChemGuide** [en ligne]  
<<http://www.chemguide.co.uk/organicprops/phenol/other.html>>, consulté le 07/04/2014
  
- **Societe Chimique de France** [en ligne]  
<[http://www.societechimiquedefrance.fr /img/pdf/b\\_7\\_000\\_000.vfx2\\_sav.pdf](http://www.societechimiquedefrance.fr /img/pdf/b_7_000_000.vfx2_sav.pdf)>, (consulté le 27/03/2014)
  
- **Bouassisa** [en ligne]  
<[http://bouassida.netai.net/web\\_documents/6\\_actionneurs\\_de\\_r\\_gulation\\_variateur.pdf](http://bouassida.netai.net/web_documents/6_actionneurs_de_r_gulation_variateur.pdf)>, (consulté le 07/04/2014)
  
- **Radio Spares** [en ligne]  
<<http://radiospares-fr.rs-online.com/web/p/variateurs-de-frequence/0385118/>>, (consulté le 07/04/2014)
  
- **Pages personnelles de Gilbert Gastevois** [en ligne]  
<[http://gilbert.gastevois.pagesperso-orange.fr/donnees/cstes\\_therm\\_org.htm](http://gilbert.gastevois.pagesperso-orange.fr/donnees/cstes_therm_org.htm)>, (consulté le 27/03/2014)
  
- **EPA** [en ligne]  
<<http://www.epa.gov/ttnchie1/le/formal.pdf>>, (consulté le 03/04/2014)
  
- **Urssaf** [en ligne]  
<[http://www.urssaf.fr/employeurs/baremes/baremes/valeurs\\_du\\_smic\\_01.html](http://www.urssaf.fr/employeurs/baremes/baremes/valeurs_du_smic_01.html)>, (consulté le 07/04/2014)

**Autres :**

- Présentation d'Antoine David, (septembre 2012), fournie par Saint-Gobain Abrasives
- Cours d'HEI 3 de Mme Ghinet, année 2014
- Fiche toxicologique du phénol et du formol issues de l'INRS
- Produits chimiques cancérigènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction- classification réglementaire de l'INRS
- Arrêté du 2 février 1998
- Arrêté préfectoral N° 04-176
- Eisenmann (Août 2006). "Technique de l'environnement : Traitement d'air - Traitement des eaux usées - Elimination des déchets". page 1.

# ANNEXES

---

Annexe 1 : Planning prévisionnel

Annexe 2 : Note de clarification

Annexe 3 : Notes de confidentialité

Annexe 4 : Classification CMR

Annexe 5 : FDS Phénol

Annexe 6 : FDS Formol

Annexe 7 : Extrait de l'arrêté préfectoral N°04-176 Préfecture des Yvelines

Annexe 8 : Spécifications techniques de l'oxydateur Eisenmann

Annexe 9 : Extrait du rapport de mesures des émissions atmosphériques de Veritas

Annexe 10 : Tarifs de location de Oldham

Annexe 11 : Relevé de gaz de 1999

Annexe 12 : Extrait des spécifications techniques du variateur de fréquence

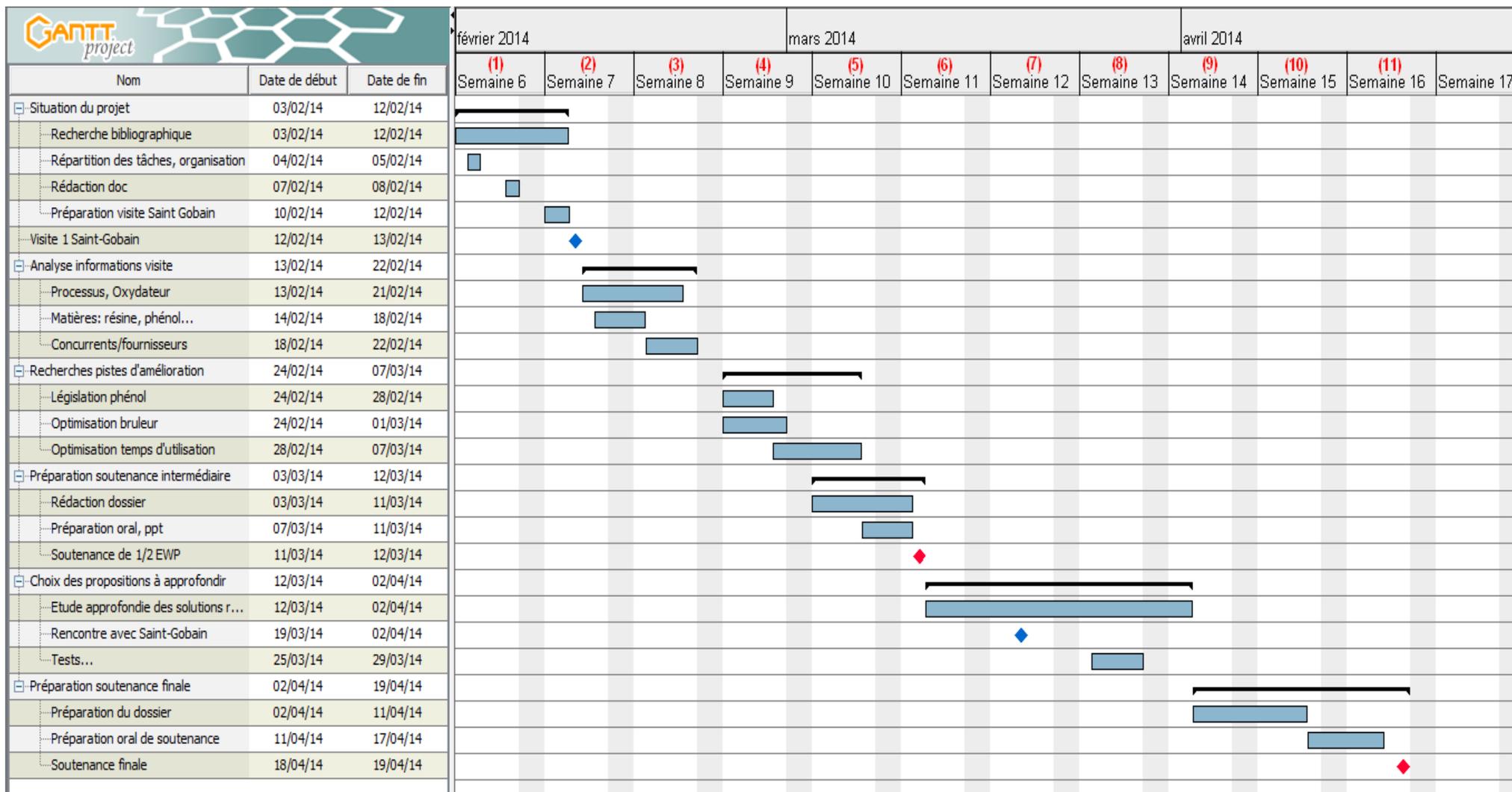
Annexe 13 : Devis de Eisenmann pour l'automate

Annexe 14 : Devis 1 de Sinthylène

Annexe 15 : Devis 2 de Sinthylène

Annexe 16 : Schémas des vues des machines de la LAT

## Annexe 1 : Planning prévisionnel



## Note de Clarification

Version 2 - 17/02/2014

CONFIDENTIEL

---

### Projet EWP Saint-Gobain

#### Optimisation de l'impact énergétique et environnemental d'un processus industriel de fabrication de matériels abrasifs

#### ↪ Contexte

Activité principale de Saint-Gobain Abrasifs : production de produits abrasifs destinés aux applications industrielles et aux particuliers.

Groupe Saint-Gobain : Leader mondial de l'habitat – Matériaux de construction

Afin d'améliorer l'impact environnemental et optimiser les coûts de production, Saint-Gobain souhaite chercher des pistes d'amélioration possibles pour réduire la consommation de gaz nécessaire au traitement par brûlage des vapeurs phénolées.

#### ↪ Documents d'entrée

Le groupe de projet peut bénéficier des travaux suivants :

- Données de production (processus)
- Données sur les machines (plan, marque, modèle)
- Fiches techniques des matières premières et produits

#### ↪ Objet du Projet

Trouver des pistes d'amélioration possibles pour réduire la consommation de gaz nécessaire au traitement par brûlage des vapeurs phénolées.

#### ↪ Objectifs du projet

Etudier les deux pistes d'amélioration envisagées :

- Optimisation de la planification et de l'organisation de la production
- Amélioration de l'efficacité de l'oxydateur au gaz présents sur la chaîne de fabrication

Etudier la faisabilité de chacune de ces propositions (coûts, délais, résultats....)

## ↳ Parties prenantes

Maîtrise d'ouvrage : Saint-Gobain, représenté par Monsieur GONZALEZ, directeur de l'usine Saint-Gobain de Conflans-Sainte-Honorine ; et Monsieur BOUYRIE, responsable engineering

Maîtrise d'œuvre : HEI, représenté par le groupe projet sous la direction de Madame Alina GHINET, enseignant chercheur au sein du département Chimie à HEI et Project Leader.

Le groupe projet est composé de :

|                |                |                       |
|----------------|----------------|-----------------------|
| Lucie BODDAERT | 06 81 93 64 33 | lucie.boddaert@hei.fr |
| Ashley DOWNER  | 06 14 64 11 94 | ashley.downer@hei.fr  |
| Emeline POMART | 06 85 02 86 36 | emeline.pomart@hei.fr |

## ↳ Contraintes

Le projet se déroulera du 03 Février 2014 jusqu'au 18 Avril 2014, soit une durée de 11 semaines. Une soutenance sera ensuite programmée qui reprendra le travail fourni pendant ce projet, les pistes de recherches et la finalisation du projet.

Une réunion hebdomadaire se tiendra avec Madame GHINET pour faire le point sur l'avancée du projet. Un compte rendu sera envoyé à Saint-Gobain, au WPI (Worcester Polytechnic Institute) chaque semaine.

L'ensemble du projet est classé confidentiel, ce qui implique la discrétion de certains documents et la tenue à huis clos de la soutenance.

## ↳ Evaluation des risques

- Délai de réalisation court
- Difficulté de tester la réalisation des améliorations proposées

Date :

Signature du commanditaire :

Date : 20/02/2014

Signature du responsable d'ouvrage :

  
Philippe BIEUA



**ENGAGEMENT DE CONFIDENTIALITE ET DE NON DIVULGATION**

Je soussigné(e) : DOWNER Ashley

En qualité de : Étudiante HEI EWP

M'engage à garder strictement confidentielle, ne pas divulguer ni exploiter de quelque façon que ce soit, soit directement, soit indirectement, toute information portée à ma connaissance concernant les projets provenant de la firme Saint Gobain Abrasifs :

Optimisation de l'impact énergétique et environnemental d'un processus industriel de fabrication de matériaux abrasifs

et ce rétroactivement à compter de la date de la prise de connaissance des données et tant que ces informations ne seront pas dans le domaine public.

Cet engagement restera en vigueur pendant dix ans à compter de sa date de signature.

Est considéré comme confidentielle toute information quelle que soit sa forme (orale, écrite, magnétique, électronique, graphique, numérique, prototype, plan, schéma, descriptif...) contenant ou consistant en une donnée de nature technique, financière, opérationnelle, commerciale, administrative ou liée à la gestion ou à un droit de propriété intellectuelle quelconque.

Fait à : Lille

Le : 21e février 2014

M(me) : DOWNER Ashley

*Ashley & Downer*

**ENGAGEMENT DE CONFIDENTIALITE ET DE NON DIVULGATION**

Je soussigné(e) : BODDAERT Lucie

En qualité de : Etudiante HEI 5 - EWP

M'engage à garder strictement confidentielle, ne pas divulguer ni exploiter de quelque façon que ce soit, soit directement, soit indirectement, toute information portée à ma connaissance concernant les projets provenant de la firme Saint Gobain Abrasifs :

Optimisation de l'impact énergétique et environnemental d'un processus industriel de fabrication de matériaux abrasifs

et ce rétroactivement à compter de la date de la prise de connaissance des données et tant que ces informations ne seront pas dans le domaine public.

Cet engagement restera en vigueur pendant dix ans à compter de sa date de signature.

Est considéré comme confidentielle toute information quelle que soit sa forme (orale, écrite, magnétique, électronique, graphique, numérique, prototype, plan, schéma, descriptif...) contenant ou consistant en une donnée de nature technique, financière, opérationnelle, commerciale, administrative ou liée à la gestion ou à un droit de propriété intellectuelle quelconque.

Fait à : Lille

Le : 26 février 2014

M(me) : BODDAERT Lucie

**ENGAGEMENT DE CONFIDENTIALITE ET DE NON DIVULGATION**

Je soussigné(e) : POTIART Emeline

En qualité de : Etudiante HEI5 - Eleven Week Project

M'engage à garder strictement confidentielle, ne pas divulguer ni exploiter de quelque façon que ce soit, soit directement, soit indirectement, toute information portée à ma connaissance concernant les projets provenant de la firme Saint Gobain Abrasifs :

Optimisation de l'impact énergétique et environnemental d'un processus industriel de fabrication de matériaux abrasifs

et ce rétroactivement à compter de la date de la prise de connaissance des données et tant que ces informations ne seront pas dans le domaine public.

Cet engagement restera en vigueur pendant dix ans à compter de sa date de signature.

Est considéré comme confidentielle toute information quelle que soit sa forme (orale, écrite, magnétique, électronique, graphique, numérique, prototype, plan, schéma, descriptif...) contenant ou consistant en une donnée de nature technique, financière, opérationnelle, commerciale, administrative ou liée à la gestion ou à un droit de propriété intellectuelle quelconque.

Fait à : Lille

Le : 26/02/2014

M(me) : POTIART Emeline



**ENGAGEMENT DE CONFIDENTIALITE ET DE NON DIVULGATION**

Je soussigné(e) : GHINET ALINA  
En qualité de : ENSEIGNANT-CHERCHEUR HEI-PROJECT LEADER

M'engage à garder strictement confidentielle, ne pas divulguer ni exploiter de quelque façon que ce soit, soit directement, soit indirectement, toute information portée à ma connaissance concernant les projets provenant de la firme Saint Gobain Abrasifs :

OPTIMISATION DE L'IMPACT ENERGETIQUE ET ENVIRONNEMENTAL  
D'UN PROCESSUS INDUSTRIEL DE FABRICATION DE MATERIELS  
ABRASIFS

et ce rétroactivement à compter de la date de la prise de connaissance des données et tant que ces informations ne seront pas dans le domaine public.

Cet engagement restera en vigueur pendant dix ans à compter de sa date de signature.

Est considéré comme confidentielle toute information quelle que soit sa forme (orale, écrite, magnétique, électronique, graphique, numérique, prototype, plan, schéma, descriptif...) contenant ou consistant en une donnée de nature technique, financière, opérationnelle, commerciale, administrative ou liée à la gestion ou à un droit de propriété intellectuelle quelconque.

Fait à : LILLE  
Le : 26 février 2014  
M(me) : GHINET ALINA



## Annexe 4 : Classification CMR

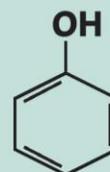
| Nom de la substance   | N° CAS          | N° ID               | ATP             | Classification selon le système réglementaire préexistant |           |                 | TMP | Classification selon le CLP modifié |            |                    |
|---|-----------------|---------------------|-----------------|---|-----------|-----------------|-----|-------------------------------------|------------|--------------------|
|   |                 |                     |                 | CANC  | MUTA      | REPRO (R)       |     | CANC                                | MUTA       | REPRO (H) (1)      |
| <i>oxyde de nickel (IV) → nickel (dioxyde de)</i>                                 |                 |                     |                 |   |           |                 |     |                                     |            |                    |
| <i>oxyde de nickel (II) → nickel (monoxyde de)</i>                                |                 |                     |                 |   |           |                 |     |                                     |            |                    |
| <b>oxyde de nickel et de cobalt</b>   | 12737-30-3      | 028-043-00-0        | 1 <sup>re</sup> | <b>C1</b>   |           |                 |     | <b>C1A</b>                          |            |                    |
| <b>oxyde de nickel et de titane</b>   | 12653-76-8      | 028-057-00-7        | 1 <sup>re</sup> | <b>C1</b>   |           |                 |     | <b>C1A</b>                          |            |                    |
| oxyde de potassium et de titane (K <sub>2</sub> Ti <sub>6</sub> O <sub>13</sub> ) | 12056-51-8      | 022-004-00-1        | 1 <sup>re</sup> | <b>C3</b>   |           |                 |     | <b>C2</b>                           |            |                    |
| <b>oxyde de propylène</b>   | 75-56-9         | 603-055-00-4        |                 | <b>C2</b>   | <b>M2</b> |                 |     | <b>C1B</b>                          | <b>M1B</b> |                    |
| <b>oxyde de styrène</b>   | 96-09-3         | 603-084-00-2        |                 | <b>C2</b>   |           |                 |     | <b>C1B</b>                          |            |                    |
| <b>oxyde d'éthylène</b>   | 75-21-8         | 603-023-00-X        | 1 <sup>re</sup> | <b>C2</b>   | <b>M2</b> |                 |     | <b>C1B</b>                          | <b>M1B</b> |                    |
| <b>4,4'-oxydianiline et ses sels</b>  | 101-80-4        | 612-199-00-7        |                 | <b>C2</b>   | <b>M2</b> | <b>R3 (R62)</b> |     | <b>C1B</b>                          | <b>M1B</b> | <b>R2 (H361f)</b>  |
| oxyméthylloxirane de 6-glycidylloxynapht-1-yle                                    | 27610-48-6      | 603-113-00-9        | 1 <sup>re</sup> |   | <b>M3</b> |                 |     |                                     | <b>M2</b>  |                    |
| pentachloroéthane   | 76-01-7         | 602-017-00-4        |                 | <b>C3</b>   |           |                 |     | <b>C2</b>                           |            |                    |
| pentachlorophénol   | 87-86-5         | 604-002-00-8        |                 | <b>C3</b>   |           |                 |     | <b>C2</b>                           |            |                    |
| pentachlorophénolate de potassium   | 7778-73-6       | 604-003-00-3        |                 | <b>C3</b>   |           |                 |     | <b>C2</b>                           |            |                    |
| pentachlorophénolate de sodium  | 131-52-2        | 604-003-00-3        |                 | <b>C3</b>   |           |                 |     | <b>C2</b>                           |            |                    |
| pentaoxyde de divanadium  | 1314-62-1       | 023-001-00-8        |                 |   | <b>M3</b> | <b>R3 (R63)</b> |     |                                     | <b>M2</b>  | <b>R2 (H361d)</b>  |
| <b>perfluorooctanesulfonate d'ammonium</b>  | 29081-56-9      | 607-624-00-8        | 1 <sup>re</sup> | <b>C3</b>   |           | <b>R2 (R61)</b> |     | <b>C2</b>                           |            | <b>R1B (H360D)</b> |
| <b>perfluorooctanesulfonate de diéthanolamine</b>                                 | 70225-14-8      | 607-624-00-8        | 1 <sup>re</sup> | <b>C3</b>   |           | <b>R2 (R61)</b> |     | <b>C2</b>                           |            | <b>R1B (H360D)</b> |
| <b>perfluorooctanesulfonate de lithium</b>  | 29457-72-5      | 607-624-00-8        | 1 <sup>re</sup> | <b>C3</b>   |           | <b>R2 (R61)</b> |     | <b>C2</b>                           |            | <b>R1B (H360D)</b> |
| <b>perfluorooctanesulfonate de potassium</b>                                      | 2795-39-3       | 607-624-00-8        | 1 <sup>re</sup> | <b>C3</b>   |           | <b>R2 (R61)</b> |     | <b>C2</b>                           |            | <b>R1B (H360D)</b> |
| <b>périclase de cobalt et nickel, gris</b>  | 68186-89-0      | 028-043-00-0        | 1 <sup>re</sup> | <b>C1</b>   |           |                 |     | <b>C1A</b>                          |            |                    |
| <i>p-phénétidine → 4-éthoxyaniline</i>  |                 |                     |                 |   |           |                 |     |                                     |            |                    |
| <i>1-perhydroazépinecarbothioate de S-éthyle → molinate (ISO)</i>                 |                 |                     |                 |   |           |                 |     |                                     |            |                    |
| <b>phénol</b>   | <b>108-95-2</b> | <b>604-001-00-2</b> |                 |   | <b>M3</b> |                 |     |                                     | <b>M2</b>  |                    |
| <b>phénolphtaléine</b>  | 77-09-8         | 604-076-00-1        | 1 <sup>re</sup> | <b>C2</b>   | <b>M3</b> | <b>R3 (R62)</b> |     | <b>C1B</b>                          | <b>M2</b>  | <b>R2 (H361f)</b>  |

**FICHE TOXICOLOGIQUE**

**FT 15**

**Phénol**

Fiche établie par les services techniques et médicaux de l'INRS  
(N. Bonnard, M.-T. Brondeau, D. Jargot, D. Lafon, S. Miraval, O. Schneider)



$C_6H_6O$

**Numéro CAS**  
108-95-2

**Numéro CE**  
203-632-7

**Numéro Index**  
604-001-00-2

**Synonymes**  
Acide carbolique  
Monohydroxybenzène

**CARACTÉRISTIQUES**

**UTILISATIONS [1, 3, 5]**

- Le phénol est principalement utilisé en tant qu'intermédiaire :
- dans l'industrie des matières plastiques (résines phénoliques, bisphénol A...);
  - pour la fabrication d'alkylphénols, caprolactame, d'acide salicylique, de chlorophénols, de nitrophénols, d'acide picrique, d'acide adipique...;
  - pour la fabrication de plastifiants, d'adhésifs, de durcisseurs, de dissolvants, d'isolants...

Il est également utilisé dans une moindre mesure en tant que composant dans des cosmétiques et des médicaments.

Depuis 2006, le phénol ne peut plus être utilisé comme substance active biocide (désinfectant).

Depuis le 1<sup>er</sup> décembre 2010, l'étiquette doit être conforme au règlement (CE) n° 1272/2008 dit « règlement CLP »



**PHÉNOL**

**DANGER**

- H 341 - Susceptible d'induire des anomalies génétiques.
- H 331 - Toxique par inhalation.
- H 311 - Toxique par contact cutané.
- H 301 - Toxique en cas d'ingestion.
- H 373 - Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.
- H 314 - Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.

Nota : Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement CE n° 1272/2008.

203-632-7

Selon le règlement CLP.



T - Toxique

**PHÉNOL**

- R 23/24/25 - Toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion.
- R 34 - Provoque des brûlures.
- R 48/20/21/22 - Nocif : risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion.
- R 68 - Possibilité d'effets irréversibles.
- S 24/25 - Éviter le contact avec la peau et les yeux.
- S 26 - En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste.
- S 28 - Après contact avec la peau, se laver immédiatement et abondamment avec de l'eau.
- S 36/37/39 - Porter un vêtement de protection approprié, des gants et un appareil de protection des yeux/du visage.
- S 45 - En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette).

203-632-7 - Étiquetage CE.

Selon la directive 67/548/CEE.

## PROPRIÉTÉS PHYSIQUES [1 à 5]

Dans les conditions normales de température et de pression, le phénol est un solide qui se présente sous la forme d'une masse cristalline ou d'aiguilles incolores, hygroscopique et d'odeur caractéristique à la fois âcre et douceâtre (limite olfactive : 0,05 ppm).

En présence d'impuretés, d'eau ou de lumière, le phénol se teinte en rose ou rouge.

À 25 °C, le phénol est modérément soluble dans l'eau (environ 80 g/l); il l'est en toute proportion à partir de 65 °C. Il est également très soluble dans de nombreux solvants organiques usuels tels l'acétone, l'éthanol, l'oxyde de diéthyle...

Ses principales caractéristiques physiques sont les suivantes.

|   |   |
|---|---|
| Masse molaire   | 94,11   |
| Point de fusion   | 40,9 °C   |
| Point d'ébullition  | 181,8 °C  |
| Densité (D <sub>4</sub> <sup>20</sup> )   | 1,07  |
| Viscosité dynamique   | 3,44 mPa.s  |
| Densité de vapeur (air = 1)   | 3,24  |
| Pressions de vapeur   | 0,2 hPa à 20 °C<br>3,5 hPa à 50 °C<br>54 hPa à 100 °C |
| Coefficient de partage : log Pow  | 1,47  |
| Point d'éclair en coupelle fermée   | 79 °C   |
| Température d'auto-inflammation   | 715 °C  |
| Limites d'explosivité dans l'air (% en volume):<br>limite inférieure<br>limite supérieure | 1,7 %<br>8,6 %  |

À 25 °C et 101 kPa, 1 ppm = 3,91 mg/m<sup>3</sup>.

## PROPRIÉTÉS CHIMIQUES [2, 3]

Le phénol peut réagir vivement avec les oxydants puissants.

La réaction entre le phénol et de nombreuses substances (formaldéhyde, chlorure d'aluminium, nitrobenzène, nitrate de sodium, 1,3-butadiène...) peut être violente.

À chaud, le phénol liquide attaque certains métaux (plomb, zinc, aluminium...) ainsi que certains plastiques, notamment le polyéthylène.

### Récipients de stockage

Le stockage du phénol s'effectue généralement dans des récipients en verre.

Le produit attaque le zinc et l'aluminium.

L'utilisation de matières plastiques est déconseillée.

## VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

Des valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes dans l'air des locaux de travail ont été établies en France pour le phénol (art. R. 4412-149 du Code du travail) (voir tableau ci-dessous).

| PAYS                              | VLEP                                    |   | Court terme<br>(15 minutes max.) |                   |
|-----------------------------------|---|---|----------------------------------|-------------------|
|                                   | Moyenne pondérée<br>sur 8 heures<br>ppm | Moyenne pondérée<br>sur 8 heures<br>mg/m <sup>3</sup> | ppm                              | mg/m <sup>3</sup> |
| France<br>(VLEP<br>contraignante) | 2                                       | 7,8   | 4                                | 15,6              |
| Union européenne                  | 2                                       | 7,8   |                                  |                   |
| États-Unis (ACGIH)                | 5                                       |   |                                  |                   |

## MÉTHODES DE DÉTECTION ET DE DÉTERMINATION DANS L'AIR ET LES URINES

### Dans l'air

■ Prélèvement au travers d'un tube rempli de gel de silice. Désorption par un mélange eau/éthanol ou par le méthanol. Dosage par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme ou par chromatographie en phase liquide avec détection UV ou électrochimique [11].

■ Prélèvement au travers d'un tube rempli de gel de silice. Désorption par l'éther diéthylique puis dérivation par un agent de silylation. Dosage par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme [12].

■ Prélèvement au travers d'un tube rempli de résine XAD 7. Désorption par le méthanol. Dosage par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme ou par chromatographie en phase liquide avec détection UV [13].

■ L'utilisation, possible en toute première approche, d'appareils à réponse instantanée équipés d'un tube réactif colorimétrique (par exemple GASTEC n° 60, DRAEGER Phénol 1/b, MSA Phénol-1) n'assure ni la sélectivité ni la précision nécessaires à une comparaison à une valeur limite d'exposition professionnelle.

### Dans les urines [10]

■ Chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme ou par spectrométrie de masse.

■ Chromatographie en phase liquide avec détection électrochimique ou par UV.

## INCENDIE – EXPLOSION [2, 3]

Le phénol est un produit modérément inflammable (point éclair en coupelle fermée de 79 °C) dont les vapeurs peuvent former des mélanges explosifs avec l'air (limites 1,7 à 8,6 % en volume).

En cas d'incendie, les agents d'extinction préconisés sont le dioxyde de carbone, les poudres chimiques, l'eau pulvérisée en grande quantité et les mousses spéciales. L'eau peut également être utilisée en plus petite quantité afin de refroidir les fûts exposés à l'incendie.

En raison de la toxicité des fumées émises lors de la combustion du phénol, les intervenants, qualifiés et informés, seront équipés d'appareils de protection respiratoire autonomes isolants et de combinaisons de protection.

## PATHOLOGIE – TOXICOLOGIE

### TOXICOCINÉTIQUE – MÉTABOLISME [1, 6]

**Absorbé facilement par ingestion, par inhalation ou à travers la peau, le phénol est éliminé rapidement, essentiellement dans l'urine sous forme de dérivé sulfo-conjugué ou glucurono-conjugué.**

#### Chez l'animal

##### Absorption

Le phénol est bien absorbé par voies gastro-intestinale,

respiratoire et cutanée. Chez le rat, le mouton et le porc, 90, 85 et 84 % respectivement sont absorbés 8 heures après administration d'une dose orale de 25 mg/kg de <sup>14</sup>C-phénol. L'absorption percutanée *in vitro* est d'environ 26 % pour la peau de rat et 19 % pour la peau humaine. La perméabilité cutanée est augmentée pour une solution de phénol chauffée à 37 °C.

##### Distribution

Après absorption, le phénol est rapidement distribué dans tout l'organisme avec des concentrations supérieures à celles du sérum dans le foie, la rate, les reins et les surrénales. La demi-vie d'élimination sanguine est de 12 minutes pour une dose orale de 150 mg/kg; il n'y a pas d'accumulation et l'élimination tissulaire est complète après 24 heures pour cette dose.

##### Métabolisme

Le phénol est transformé en majorité, quelle que soit la voie d'administration et dans toutes les espèces, en conjugués sulfates et glucuronides. Bien que les sulfotransférases et glucuronyltransférases soient présentes dans la plupart des tissus, les sites majeurs de conjugaison du phénol sont le foie, les poumons et la muqueuse gastro-intestinale. Des différences de métabolisme ont été montrées sur 17 espèces exposées par voie orale à 20-50 mg/kg. Le chat ne forme que des conjugués sulfates et le porc que des glucuronides; 13 à 32 % de la dose chez les carnivores et 3 à 28 % chez les rongeurs sont des conjugués de l'hydroquinone. À faible dose, le phénol est préférentiellement conjugué aux sulfates, alors que le taux de conjugués glucuronides augmente avec la dose; en revanche, de faibles doses répétées ne modifient pas le rapport sulfates/glucuronides.

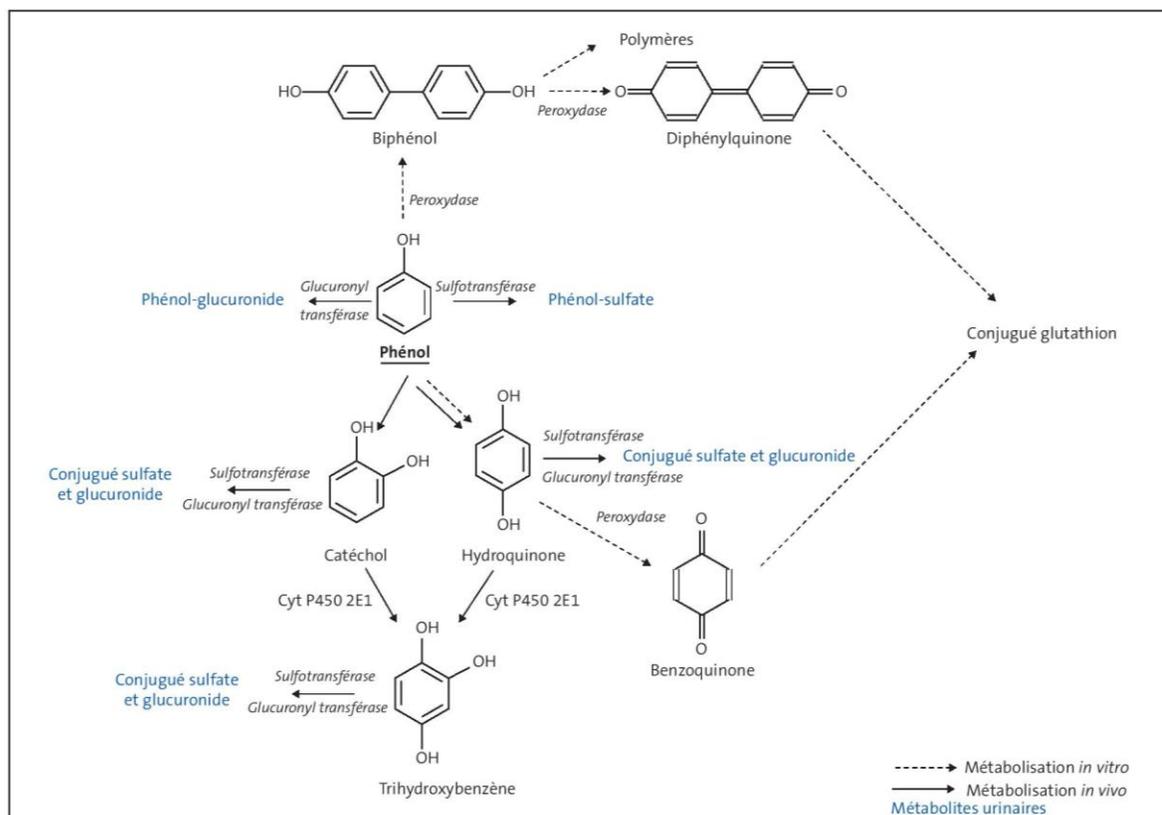


Fig. 1. Métabolisme du phénol [6]

## Élimination

L'excrétion dans l'urine est la voie principale d'élimination des métabolites du phénol chez l'animal comme chez l'homme. De faibles quantités de phénol inchangé sont éliminées à fortes doses (1,3 à 2,7 %). Chez le rat, 75-95 % de la dose absorbée sont éliminés dans l'urine en 72 heures quelle que soit la voie d'administration et moins de 5 % dans les fèces. Après exposition orale, 90 % de la dose sont excrétés dans les urines en 8 heures (38,1 % phénol glucuronide, 49,7 % phénol sulfate, 2,1 % hydroquinone glucuronide et 0,9 % hydroquinone sulfate); l'élimination est complète après 12 heures. Après exposition cutanée, seuls 40 % de la dose sont éliminés dans l'urine en 4 heures et 75 % en 24 heures. Chez le lapin, exposé à une forte dose (300 mg/kg), environ la moitié est excrétée dans l'urine sous forme inchangée, moins de 1 % sont éliminés dans les fèces et de faibles quantités sont exhalées.

## Chez l'homme

Le phénol est absorbé chez l'homme par voies orale, cutanée et inhalatoire. Une concentration inhalée de 6 à 20 mg/m<sup>3</sup> est absorbée à 60 à 80 %. Chez des volontaires, le phénol (2,5-5-10 g/l) déposé sur l'avant-bras, est absorbé de façon constante pendant une heure (0,08 mg/cm<sup>2</sup>/h) puis le taux d'absorption augmente avec la dose (env. 13 % de la dose absorbés en 30 min) [6].

Lors d'une administration orale (0,01 mg/kg), 93 % de la dose sont excrétés dans les urines après 24 heures dont 77 % de phénol-sulfate et 16 % de phénol-glucuronide. Le métabolisme après exposition cutanée n'est pas connu, cependant après une exposition inhalatoire et dermique (25 mg/m<sup>3</sup>, 8 h), la demie-vie d'excrétion a été estimée à 3,5 heures; 80 à 100 % de la dose d'exposition ont été excrétés en 24 heures.

### Surveillance biologique [10]

Le dosage phénol total urinaire en fin de poste de travail est proposé pour la surveillance biologique de l'exposition en raison notamment de la bonne pénétration cutanée du phénol. Ce paramètre est non spécifique et soumis à des variations individuelles importantes.

Des valeurs guides existent pour ce paramètre. Voir § "Recommandations II".

## TOXICITÉ EXPÉRIMENTALE

### Toxicité aiguë [1, 6]

**En exposition aiguë, le phénol est toxique par voies orale et cutanée, irritant pour le tractus respiratoire et corrosif pour la peau.**

| Voie        | Espèce      | DL50/CL50                                |
|-------------|-------------|--|
| Orale       | Rat         | 340 mg/kg                                |
|             | Souris      | 300 mg/kg                                |
|             | Lapin       | 420 mg/kg                                |
| Cutanée     | Rat femelle | 660-707 mg/kg (± occlusion)              |
|             | Lapin       | 850 mg/kg (± abrasion)                   |
| Inhalatoire | Rat         | > 236 ppm (900 mg/m <sup>3</sup> ) / 8 h |

Tableau I. Toxicité aiguë du phénol

Après inhalation, les animaux présentent une irritation nasale et oculaire et une légère perte de coordination avec spasmes musculaires et tremblements; les symptômes disparaissent en 24 heures.

Après exposition orale à forte dose, les animaux meurent en 5 à 150 minutes. Les signes cliniques sont : variations de température corporelle, respiration ralentie et irrégulière, contraction puis dilatation des pupilles, salivation, dyspnée, tremblements, convulsions, léthargie et coma. À dose égale, la toxicité de solutions concentrées ou diluées est quasiment semblable.

De 5 à 10 minutes après exposition cutanée, les rats développent des tremblements musculaires sévères qui évoluent en convulsions, perte de conscience et prostration; une hémoglobinurie apparaît après 45 à 90 minutes selon la dose. Tous les animaux présentent des lésions cutanées sévères avec œdème immédiat, suivi, dans les 4 heures, de nécrose et, en 24 heures, de blanchiment de la peau et d'un érythème étendu. L'autopsie révèle une congestion rénale et une distension de la vessie avec hématurie; on observe une nécrose épidermique et dermique de la peau. La sévérité des effets cutanés est augmentée par la présence d'eau dans les solutions diluées.

### Irritation

Le phénol est corrosif pour la peau à partir d'une concentration de 1 %; instillé dans l'œil de lapin (solution aqueuse à 5 %), il induit une opacification non réversible de la cornée dont la durée et la sévérité sont amoindries par un lavage immédiat.

C'est un irritant respiratoire, la RD50 chez la souris est de 166 ppm.

### Sensibilisation

Les tests de sensibilisation (Buehler chez le cobaye, épaissement de l'oreille (MESA) chez la souris) donnent des résultats négatifs avec des concentrations d'induction de 10 et 5 % respectivement.

### Toxicité subchronique, toxicité chronique [1, 6]

**Une exposition prolongée au phénol induit des effets d'intensité variable selon l'espèce, en particulier sur le système nerveux central, le cœur, le foie et les reins.**

La létalité induite par le phénol est variable selon l'espèce et la voie d'administration :

– chez le rat, elle est importante par gavage (120 mg/kg/j, 14 j), plus faible à nulle par administration dans l'eau de boisson (360 mg/kg/j, 14 j ou 450 mg/kg/j, 103 sem) ou inhalation (0,1-0,2 mg/l, 90 j);

– chez la souris, aucune létalité après administration dans l'eau de boisson (375 mg/kg/j, 103 sem) ou inhalation (5 ppm, 90 j);

– chez le cobaye, détresse respiratoire et létalité importante après 20 jours d'exposition par inhalation (0,1-0,2 mg/l) avec modification du tractus respiratoire (inflammation, pneumonie, bronchite), du cœur (inflammation, dégénérescence et nécrose du myocarde, fibrose interstitielle), du foie (dégénérescence centrolobulaire et nécrose) et des reins (lésion du tube proximal et du glomérule);

– chez le lapin, un seul décès après 6 applications cutanées (783 mg/kg/j); par inhalation (0,1-0,2 mg/l, 88 j), les lésions sont semblables à celles du cobaye mais moins sévères.

Une baisse de poids corporel est induite chez le rat et la souris, exposés dans l'eau de boisson, par une baisse de prise d'eau et de nourriture.

Une exposition au phénol provoque des effets sur le système nerveux central ou périphérique des animaux, résultant en tremblements musculaires, mouvements incoordonnés transitoires, déséquilibre, hypothermie, diminution de l'activité spontanée et paralysie des membres antérieurs. Ces effets ne sont pas associés à des lésions morphologiques. Des applications intraneurales ou épidurales à fortes doses ont montré, chez le singe, le rat et le chat, un effet inhibiteur du phénol sur la conduction nerveuse et/ou une dégénérescence des axones et une démyélinisation de la moelle épinière et des nerfs distaux. La NOAEL pour les effets neurologiques est de 200 ppm dans l'eau de boisson du rat (18 mg/kg/j chez le rat mâle, 25 mg/kg/j chez le rat femelle).

Le phénol provoque chez la souris (6,2 mg/kg/j, 28 j dans l'eau de boisson) l'apparition d'une anémie par inhibition de l'érythropoïèse ainsi qu'une baisse de la réponse immunitaire; cet effet n'a pas été étudié chez d'autres espèces.

### Effets génotoxiques [1, 6]

**Le phénol est mutagène in vitro pour les cellules de mam-mifère; in vivo, il augmente légèrement le taux de micro-noyaux dans les érythrocytes, à des doses toxiques uniquement.**

*In vitro*, le phénol induit des mutations (faibles sur V79 et cellules de lymphome de souris, importantes sur cellules embryonnaires de hamster syrien), des aberrations chromosomiques (cellules ovariennes de hamster chinois), des micronoyaux (diverses cellules de mammifères), des échanges entre chromatides sœurs (lymphocytes humains, cellules ovariennes de hamster chinois en présence d'activateurs métaboliques) ainsi que l'induction de la synthèse non programmée de l'ADN (cellules embryonnaires de hamster syrien); en revanche, les résultats des tests bactériens et d'un test d'induction d'aneuploïdie (cellules embryonnaires de hamster syrien) sont négatifs.

*In vivo*, le test d'induction de micronoyaux dans les érythrocytes de souris après exposition unique par voie orale (265 mg/kg) donne des résultats faiblement positifs ou négatifs. Une injection intrapéritonéale (ip) à la même dose fournit des résultats positifs mais avec une forte cytotoxicité; des injections intrapéritonéales multiples (jusqu'à 188 mg/kg) occasionnent des résultats faiblement positifs voire négatifs.

Le phénol n'induit ni aberrations chromosomiques dans la moelle osseuse du rat, après administration orale (510 mg/kg) ou injection intrapéritonéale (180 mg/kg), ni cassures de l'ADN testiculaire (79 mg/kg, ip). Il n'occasionne pas la synthèse d'adduits à l'ADN chez le rat ou la souris.

### Effets cancérigènes [1, 7]

**Le phénol n'est pas cancérigène dans les tests pratiqués par voie orale ou cutanée; sur la peau, il agit comme promoteur après une exposition à des substances cancérigènes.**

Administré par voie orale (2500-5000 ppm dans l'eau de boisson pendant 103 sem), le phénol n'est pas cancérigène pour le rat ou la souris; une exposition cutanée (3 mg, 2 fois/sem, 20 sem) chez la souris provoque une inhibition de la croissance des poils et une irritation chronique de la peau mais pas de tumeurs.

Après traitement par le diméthylbenz[a]anthracène,

inducteur de cancérogenèse, l'application cutanée de phénol (solution à 10 %, 2 fois/sem) augmente le taux de papillomes et de carcinomes cutanés. Le phénol, par son effet irritant, agirait comme promoteur au niveau de la peau.

### Effets sur la reproduction [1, 8, 9]

**Le phénol n'agit pas sur la fertilité des rats. Administré pendant la gestation, il est foetotoxique à des doses toxiques pour les mères.**

#### Fertilité

Dans un test sur 2 générations, le phénol (200-1000 et 5000 ppm soit 15-70-300 mg/kg/j dans l'eau de boisson, 10 semaines avant accouplement, pendant l'accouplement, la gestation et la lactation), ne modifie pas les capacités reproductrices et la fertilité des rats des 2 sexes.

#### Développement

Le phénol administré par voie orale provoque, à une dose toxique pour les mères, une baisse de poids des petits à la naissance, l'apparition de fentes palatines chez la souris (280 mg/kg/j du 6<sup>e</sup> au 15<sup>e</sup> jour de gestation) et un retard d'ossification et de maturation sexuelle chez le rat (360 mg/kg/j par gavage du 6<sup>e</sup> au 15<sup>e</sup> jour de gestation ou 320 mg/kg/j dans l'eau de boisson sur 2 générations) mais pas d'effet tératogène.

|        | Espèce         | NOAEL maternel | NOAEL fœtal |
|--------|----------------|----------------|-------------|
| Rat    | Gavage         | 60 mg/kg/j     | 120 mg/kg/j |
|        | Eau de boisson | 93 mg/kg/j     | 93 mg/kg/j  |
| Souris | Gavage         | 140 mg/kg/j    | 140 mg/kg/j |

Tableau II. Doses sans effet toxique observé pour le développement

*In vitro*, le phénol, en absence d'activateurs métaboliques, n'a pas d'effet sur le développement de l'embryon de rat en culture jusqu'à la dose de 1600 µM; en présence d'activateurs métaboliques, la croissance et le développement des embryons sont inversement proportionnels à la dose à partir de 10 µM. Les métabolites du phénol présentent des effets embryotoxiques *in vitro*, sans apport d'activateurs métaboliques; le plus toxique est l'aldéhyde t,t-muconique qui induit 100 % d'embryolétalité à 50 µM.

## TOXICITÉ SUR L'HOMME

### Toxicité aiguë [1]

Les intoxications aiguës professionnelles sont rares et interviennent essentiellement par voie cutanée (produit répandu sur la peau), la faible volatilité du phénol limitant les risques d'inhalation de concentrations importantes.

La gravité de l'intoxication cutanée est fonction du temps de contact, de l'étendue de la zone exposée, de la concentration de la solution et de la susceptibilité individuelle du sujet. Les symptômes apparaissent très rapidement (en 15 à 20 minutes): maux de tête, faiblesse musculaire, étourdissement, troubles de la vision et de l'audition, respiration rapide et irrégulière, pouls faible, perte de conscience, la mort pouvant survenir par défaillance respiratoire (entre 30 minutes et quelques heures après le contact); en cas de rémission, on observe des atteintes rénale (oligurie ou anurie) et hépatique (ictère par nécrose). Des décès ont été rapportés pour des contacts cutanés de 5 à

*Rappel* : La réglementation citée est celle en vigueur à la date d'édition de cette fiche : 1<sup>er</sup> trimestre 2011.

30 minutes avec des solutions contenant de 80 à 100 % de phénol. Une intoxication sévère a été décrite suite à une projection d'une solution de phénol à 90 % sur un pied, soit 3 % de la surface cutanée corporelle.

L'inhalation donne en plus des signes d'irritation respiratoire avec toux et dyspnée ; en cas d'ingestion, en plus de l'effet caustique sur le tube digestif, on observe des troubles neurologiques (coma, convulsions), cardio-vasculaires (bradycardie, troubles de l'excitabilité, collapsus), une cytolysé hépatique, une méthémoglobinémie avec hémolyse et une nécrose tubulaire rénale. Les urines sont brun foncé à cause des pigments de l'hémoglobine et des métabolites du produit. Un œdème pulmonaire retardé, de mécanisme non élucidé, est habituel.

Localement, le phénol et ses solutions concentrées exercent une action caustique sur la peau. La surface exposée devient blanche, la douleur due à la brûlure ne se manifestant qu'avec retard en raison de l'action analgésique du produit ; sans lavage abondant de la zone de contact, on peut avoir une destruction tissulaire et une gangrène. Des solutions diluées peuvent entraîner une dermite sévère, surtout si le contact est répété.

Par voie orale, des décès sont rapportés pour des doses de 140 à 290 mg/kg de poids corporel.

Les projections sur l'œil de phénol ou de solutions concentrées provoquent une irritation sévère qui peut aller jusqu'à la destruction de la cornée s'il n'y a pas de décontamination immédiate.

Aucun cas d'allergie cutanée n'a été signalé chez l'homme.

## Toxicité chronique [1]

L'intoxication chronique se caractérise par des troubles digestifs (vomissements, difficulté à avaler, pyalisme, diarrhée, anorexie), nerveux (maux de tête, évanouissement, vertiges, troubles mentaux) et cutanés (érythèmes, eczémas avec parfois ochronose). Ces symptômes sont connus sous le nom de marasme phéniqué. Dans les cas sévères, on note une atteinte hépatique et rénale. Certaines issues fatales ont été rapportées.

## Effets cancérigènes [1]

Une étude cas-témoins a été publiée à propos de tumeurs respiratoires. Aucune conclusion ne peut en être tirée du fait d'une co-exposition et d'une absence de relation dose-réponse.

Une étude de mortalité chez des salariés employés dans des industries produisant du phénol ne montre pas d'augmentation statistiquement significative de cancers.

## Effets sur la reproduction

Aucune donnée humaine n'a été publiée.

Les textes cités se rapportent essentiellement à la prévention du risque en milieu professionnel et sont issus du Code du travail et du Code de la sécurité sociale. Les rubriques « Protection de la population » et « Protection de l'environnement » ne sont que très partiellement renseignées.

## HYGIÈNE ET SÉCURITÉ DU TRAVAIL

### 1. Mesures de prévention des risques chimiques (agents chimiques dangereux)

- Articles R. 4412-1 à R. 4412-58 du Code du travail.
- Circulaire DRT n° 12 du 24 mai 2006 (non parue au JO).

### 2. Aération et assainissement des locaux

- Articles R. 4222-1 à R. 4222-26 du Code du travail.
- Circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 (non parue au JO).
- Arrêtés des 8 et 9 octobre 1987 (JO du 22 octobre 1987) et du 24 décembre 1993 (JO du 29 décembre 1993) relatifs aux contrôles des installations.

### 3. Prévention des incendies

- Articles R. 4227-1 à R. 4227-41 du Code du travail.
- Articles R. 4227-42 à R. 4227-54 du Code du travail.
- Décret 96-1010 modifié du 19 novembre 1996 (JO du 24 novembre 1996) relatif aux appareils destinés à être utilisés en atmosphère explosible.

### 4. Valeurs limites d'exposition professionnelle

- Article R. 4412-149 du Code du travail.
- Directive 2000/39/CE de la Commission du 8 juin 2000 (JOCE du 16 juin 2000).

### 5. Maladies à caractère professionnel

- Articles L. 461-6 et D. 461-1 et annexe du Code de la sécurité sociale : déclaration médicale de ces affections.

### 6. Surveillance médicale renforcée

- Arrêté du 11 juillet 1977 (JO du 24 juillet 1977) fixant la liste des travaux nécessitant une surveillance médicale spéciale (travaux comportant la préparation, l'emploi, la manipulation ou l'exposition au phénol) et circulaire du 29 avril 1980 (non parue au JO).

### 7. Classification et étiquetage

L'étiquette doit être conforme au règlement CLP à compter du 1<sup>er</sup> décembre 2010 pour les substances et du 1<sup>er</sup> juin 2015 pour les mélanges.

#### a) *substance* phénol *pure* :

- Le règlement CLP (règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 (JOUE L 353 du 31 décembre 2008) introduit dans l'Union européenne le nouveau système général harmonisé de classification et d'étiquetage ou SGH. La classification et l'étiquetage du phénol, harmonisés selon les deux systèmes (règlement et directive 67/548/CEE), figurent dans l'annexe VI du règlement CLP.

La classification est :

– selon le règlement (CE) n° 1272/2008

- Mutagénicité sur les cellules germinales, catégorie 2 ; H 341
- Toxicité aiguë (par inhalation), catégorie 3 ; H 331
- Toxicité aiguë (par voie cutanée), catégorie 3 ; H 311
- Toxicité aiguë (par voie orale), catégorie 3 ; H 301
- Toxicité spécifique pour certains organes cibles – Exposition répétée, catégorie 2 ; H 373
- Corrosion /irritation cutanée, catégories 1B ; H 314

– selon la directive 67/548/CEE

- Mutagène, Cat. 3 ; R 68
- Toxique ; R 23/24/25
- Nocif ; R 48/20/21/22
- Corrosif ; R 34

b) des **mélanges** (préparations) contenant du phénol :

- Arrêté du 9 novembre 2004 modifié (JO du 18 novembre 2004) transposant la directive 1999/45/CE ou
- Règlement (CE) n° 1272/2008.

Des limites spécifiques de concentration ont été fixées pour le phénol.

### 8. Entreprises extérieures

- Arrêté du 19 mars 1993 (JO du 27 mars 1993) fixant la liste des travaux dangereux pour lesquels il est établi par écrit un plan de prévention.

## PROTECTION DE LA POPULATION

- Article L. 5132.2, articles R. 5132-43 à R. 5132-73, articles R.1342-1 à 1342-12 du Code de la santé publique :
  - détention dans des conditions déterminées (art. R 5132-66) ;
  - étiquetage (cf. 7) ;
  - cession réglementée (art. R. 5132-58 et 5132-59).

## PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Installations classées pour la protection de l'environnement, Paris, imprimerie des Journaux Officiels, brochure n° 1001 :

- n° 1130 : substances et préparations toxiques, fabrication industrielle.
- n° 1131 : substances et préparations toxiques, emploi ou stockage.

## TRANSPORT

Se reporter éventuellement aux règlements suivants.

### 1. Transport terrestre national et international (route, chemin de fer, voie de navigation intérieure) :

- ADR, RID, ADN :
  - N° ONU : 2821 (phénol en solution)
  - N° ONU : 2312 (phénol fondu)
  - N° ONU : 1671 (phénol solide)
  - Classe : 6.1
  - Groupe d'emballage : II

### 2. Transport par air

- IATA

### 3. Transport par mer

- IMDG

# RECOMMANDATIONS

## I. AU POINT DE VUE TECHNIQUE

En raison de sa toxicité et de ses propriétés corrosives, des mesures de prévention sérieuses s'imposent lors du stockage et de l'utilisation du phénol.

### Stockage

■ Stocker le phénol dans des locaux frais et bien ventilés, à l'abri des rayonnements solaires et de toute source de chaleur ou d'ignition (flammes, étincelles...) et à l'écart des produits oxydants.

Le sol des locaux sera incombustible, imperméable et formera cuvette de rétention, afin qu'en cas de déversement accidentel le produit ne puisse se répandre au-dehors.

■ Interdire de fumer.

■ Fermer soigneusement les récipients et les étiqueter correctement. Reproduire l'étiquetage en cas de fractionnement des emballages.

■ Des appareils de protection respiratoire isolants autonomes seront prévus à proximité des locaux pour les interventions d'urgence.

### Manipulation

Les prescriptions relatives aux zones de stockage sont applicables aux ateliers où est utilisé le phénol. En outre :

■ Instruire le personnel des risques présentés par le produit, des précautions à observer et des mesures à prendre en cas d'accident. Les procédures spéciales en cas d'urgence feront l'objet d'exercices d'entraînement.

■ Entreposer dans les ateliers des quantités de produit relativement faibles et de toute manière ne dépassant pas celles nécessaires au travail d'une journée.

■ Éviter l'inhalation de vapeurs. Effectuer en appareil clos toute opération industrielle qui s'y prête. Prévoir une aspiration des vapeurs à leur source d'émission ainsi qu'une ventilation générale des locaux. Prévoir également des appareils de protection respiratoire pour certaines opérations exceptionnelles de courte durée ; leur choix dépend des conditions de travail ; si un appareil filtrant peut être utilisé, il doit être muni d'un filtre de type A. Pour des interventions d'urgence, le port d'un appareil respiratoire isolant autonome est nécessaire.

■ Contrôler fréquemment et régulièrement la teneur de l'atmosphère en phénol.

■ Éviter tout contact du produit avec la peau et les yeux. Mettre à la disposition du personnel des équipements de protection individuelle : vêtements de travail, gants imperméables (par exemple en caoutchouc butyle, Barrier®, Trelchem®, Tychem®, Viton® ; le caoutchouc naturel, le polyéthylène, le polychlorure de vinyle et le polyalcool de vinyle sont déconseillés [14]) et lunettes de sécurité. Ces effets seront maintenus en bon état et nettoyés après chaque usage.

■ Ne pas fumer, boire ou manger dans les ateliers. Observer une hygiène corporelle et vestimentaire stricte : lavage soigneux des mains après manipulation et changement de vêtements après le travail, rangement séparé des vêtements de ville et des vêtements de travail. L'employeur

assurera l'entretien et le lavage fréquent des vêtements de travail qui devront rester dans l'entreprise.

- Prévoir l'installation de douches de sécurité et de fontaines oculaires dans les ateliers où le produit est manipulé de façon constante.

- Ne jamais procéder à des travaux sur ou dans des cuves et réservoirs contenant ou ayant contenu du phénol sans prendre les précautions d'usage [15].

- Ne pas rejeter le phénol à l'égout ou dans le milieu naturel.

- En cas de déversement accidentel, récupérer le phénol solide après l'avoir humidifié afin d'éviter la formation de poussières.

S'il s'agit de phénol en solution, l'absorber avec de la terre, du sable ou tout autre matériau absorbant inerte puis le récupérer immédiatement dans des récipients clos et étanches prévus à cet effet.

Si le déversement est important, faire évacuer le personnel et ne faire intervenir que des opérateurs entraînés munis d'un équipement de protection approprié.

- Éliminer les déchets dans les conditions autorisées par la réglementation (incinération contrôlée, par exemple).

## II. AU POINT DE VUE MÉDICAL

- Éloigner des postes comportant un risque d'exposition les sujets atteints d'affections cutanées, neurologiques, hépatiques ou rénales chroniques.

- Au cours des examens périodiques, rechercher des anomalies cliniques cutanées, digestives ou neurolo-

giques traduisant une intoxication chronique. Un dosage des amino-transférases et de la créatinine pourra être réalisé.

- **Surveillance biologique de l'exposition [10]** : L'ACGIH a établi un BEI à 250 mg/g. créatinine pour le phénol total (avec hydrolyse) dans les urines de fin de poste de travail. Cette valeur est identique à la valeur guide française (VGF) dont la dernière mise à jour date de 1997.

- En cas de projections cutanées, laver immédiatement et abondamment à l'eau pendant 10 à 15 minutes, après avoir retiré les vêtements souillés. Une intoxication générale pouvant survenir par cette voie, un avis médical sera toujours demandé.

- En cas de projections oculaires, laver immédiatement à l'eau pendant au moins 15 minutes. La gravité des lésions qui peuvent survenir nécessite l'avis d'un ophtalmologiste.

- En cas d'inhalation massive de vapeurs ou d'aérosols, retirer le sujet de la zone polluée après avoir pris toutes les précautions nécessaires. Mettre en œuvre s'il y a lieu des manœuvres de réanimation. Laisser le sujet au repos en raison du risque d'accident respiratoire aigu retardé. Une surveillance clinique et radiologique prolongée peut s'avérer nécessaire.

- En cas d'ingestion, ne pas faire boire, ne pas faire vomir, mais organiser rapidement le transfert, si possible en ambulance médicalisée, en milieu hospitalier pour un bilan des lésions caustiques du tractus digestif supérieur (examen de la cavité buccale, fibroscopie œsogastro-duodénale), surveillance clinique et biologique. Seul un traitement symptomatique est nécessaire.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Phénol. European Union Risk Assessment Report. Vol. 64. European Chemicals Bureau; 2006 (ecb.jrc.it).
2. Phénol. International Program on Chemical Safety. Fiche IPCS, ICSC n° 0070; 1999 ([www.cdc.gov/niosh/ipcs/icstart.html](http://www.cdc.gov/niosh/ipcs/icstart.html)).
3. Phénol. In: HSDB. NLM, 2003 ([www.toxnet.nlm.nih.gov](http://www.toxnet.nlm.nih.gov)).
4. Phénol. IUCLID Dataset. European Commission. European Chemicals Bureau; 2000 (ecb.jrc.it).
5. Phénol. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Verneuil en Halatte: INERIS; 2005 ([www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)).
6. Toxicological Profile for Phenol, TP 115. Draft for Public Comment. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry); September 2006 ([www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles)).
7. Bioassay of Phenol for possible carcinogenicity (CAS n° 108-95-2). National Toxicology Program Toxicity Report. TR-203; 2004 (ntp.niehs.nih.gov/).
8. Teratologic Evaluation of Phenol (CAS n° 108-95-2) in CD<sup>®</sup> Rats. NTP Study TER 81104; 1983 (ntp.niehs.nih.gov/).
9. Teratologic Evaluation of Phenol (CAS n° 108-95-2) in CD-1<sup>®</sup> Mice. NTP Study TER 80129; 1983 (ntp.niehs.nih.gov/).
10. Phénol. In: BIOTOX. Guide biotoxicologique pour les médecins du travail. Inventaire des dosages biologiques disponibles pour la surveillance des sujets exposés à des produits chimiques. INRS, 2010 ([www.inrs.fr/biotox](http://www.inrs.fr/biotox)).
11. Phénols et crésols. Fiche 037. In: MétroPol. Métrologie des polluants. INRS; 2007 ([www.inrs.fr/metropol](http://www.inrs.fr/metropol)).
12. BIA 8330-Phenol. BIA-Arbeitsmappe, Messung von Gefahrstoffen, Erich Schmidt Verlag; 1991.
13. OSHA Sampling and analytical methods. Méthode ID-32, Phenol and Cresol ([www.osha.gov](http://www.osha.gov)).
14. Forsberg K, Mansdorf SZ - Quick selection guide to chemical protective clothing. 5<sup>th</sup> ed. Hoboken: John Wiley & Sons; 2007.
15. Cuves et réservoirs. Recommandation CNAMTS R 435.Paris: INRS; 2008.



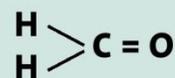
Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles  
30, rue Olivier-Noyer 75680 Paris cedex 14 • Tél. 01 40 44 30 00 • Fax 01 40 44 30 99 • Internet : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) • e-mail : [info@inrs.fr](mailto:info@inrs.fr)

**FICHE TOXICOLOGIQUE**

**FT 7**

# Aldéhyde formique et solutions aqueuses

Fiche établie par les services techniques et médicaux de l'INRS  
(N. Bonnard, M. Falcy, E. Pasquier, J.-C. Protois)



**Numéro CAS**  
50-00-0

**Numéro CE**  
200-001-8

**Numéro Index**  
605-001-5

**Synonymes**  
Formaldéhyde,  
Méthanal, Oxométhane  
Formol, Formaline (pour  
les solutions aqueuses)

## CARACTÉRISTIQUES

### UTILISATIONS [1 à 3, 5]

- Intermédiaire de synthèse (utilisation principale):
  - résines urée-formol, phénol-formol, mélamine-formol, polyacétals pour l'industrie du bois (fabrication de panneaux de contreplaqués, d'agglomérés, de stratifiés...), l'industrie du papier, les matériaux d'isolation, l'industrie des matières plastiques, l'industrie textile, colles, peintures...

Depuis le 1<sup>er</sup> décembre 2010, l'étiquette doit être conforme au règlement (CE) n° 1272/2008 dit « règlement CLP ».



**FORMALDÉHYDE... %**

**DANGER**

- H 351 – Susceptible de provoquer le cancer.
- H 331 – Toxique par inhalation.
- H 311 – Toxique par contact cutané.
- H 301 – Toxique en cas d'ingestion.
- H 314 – Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.
- H 317 – Peut provoquer une allergie cutanée.

Nota : Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement (CE) n° 1272/2008.

200-001-8

*Selon le règlement CLP.*



T-Toxique

**FORMALDÉHYDE... % (≥ 25%)**

- R 23/24/25 – Toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion.
- R 34 – Provoque des brûlures.
- R 40 – Effet cancérigène suspecté – preuves insuffisantes.
- R 43 – Peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau.
- S 26 – En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste.
- S 36/37/39 – Porter un vêtement de protection approprié, des gants et un appareil de protection des yeux/du visage.
- S 45 – En cas d'accident ou de malaise consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette).
- S 51 – Utiliser seulement dans des zones bien ventilées.

200-001-8 Étiquetage CE.

*Selon la directive 67/548/CEE.*

Remarque : la classification et l'étiquetage des solutions aqueuses d'aldéhyde formique dépendent de leur concentration. Les étiquettes ci-dessus correspondent au classement le plus sévère (voir chapitre Réglementation).

– nombreux produits chimiques : agents chélatants (acide éthylènediaminetétraacétique/EDTA, acide nitrilotriacétique/NTA...), polyols (1,4-butanediol, pentaérythritol...), hexaméthylènetétramine, méthylène-dianiline (MDA), isocyanates (MDI), produits acétyléniques...

– engrais...

■ Agent désinfectant, biocide (fongicide, bactéricide, insecticide) : applications nombreuses et diverses, par exemple produits d'entretien ménagers et industriels, industrie agroalimentaire (agent de conservation pour aliments et ensilages, désinfection), industrie des cosmétiques, industrie pharmaceutique, médecine humaine et animale (désinfectant, embaumage, désinfection des locaux, ustensiles et vêtements...), etc.

Il est également utilisé comme agent de coagulation et de conservation du latex, durcisseur de films dans l'industrie photographique, inhibiteur de corrosion dans l'industrie mécanique et métallurgique, agent réducteur pour la récupération des métaux précieux, dans les laboratoires, en histologie pour la fixation des tissus...

### PROPRIÉTÉS PHYSIQUES [1 à 7]

À la température ordinaire, l'aldéhyde formique est un gaz incolore, d'odeur piquante et suffocante. Il est très soluble dans l'eau et dans les solvants polaires tels que l'éthanol, l'acétone et l'oxyde de diéthyle.

Ses principales caractéristiques physiques sont les suivantes.

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Masse molaire                                       | 30,03                             |
| Point de fusion                                     | - 92 °C ; - 118 °C                |
| Point d'ébullition                                  | - 20 à - 19 °C                    |
| Densité   | 0,816 g/cm <sup>3</sup> à - 20 °C |
| Densité de vapeur (air = 1)                         | 1,04-1,06                         |
| Pression de vapeur                                  | 517-519 kPa à 25 °C               |
| Température d'auto-inflammation                     | 424 °C                            |
| Limites d'inflammabilité dans l'air (% en volume) : |                                   |
| limite inférieure                                   | 7 %                               |
| limite supérieure                                   | 73 %                              |
| Coefficient de partage ; log Pow                    | 0,35 à 25 °C                      |

À 25°, 1 ppm = 1,23 mg/m<sup>3</sup>.

L'aldéhyde formique n'est pas commercialisé sous forme gazeuse. Il est généralement livré en solutions aqueuses à des concentrations de 30 % à 55 % en poids. Mais il est également disponible sous ses formes polymérisées : le paraformaldéhyde (polymère) ou le trioxane (trimère).

Les **solutions aqueuses** commerciales renferment généralement de 0,5 à 15 % de méthanol comme inhibiteur de polymérisation. Leur point d'éclair varie selon leur composition : 83 °C pour une solution aqueuse à 37 % en poids d'aldéhyde formique sans méthanol, 50 °C si elle renferme 15 % de méthanol.

Le **paraformaldéhyde** (CAS n° 30525-89-4) se présente sous forme de poudre ou cristaux blancs ; il est peu soluble dans l'eau froide, très soluble dans l'eau chaude libérant des vapeurs d'aldéhyde formique, insoluble dans l'éthanol et l'oxyde de diéthyle. Il renferme l'équivalent de 90 à 93 % d'aldéhyde formique et jusqu'à 10 % d'eau.

Le **trioxane** (CAS n° 123-63-7) est un solide cristallin

(pureté ≥ 99,5%), d'odeur de chloroforme, très soluble dans l'eau, les alcools, les cétones, l'oxyde de diéthyle, les hydrocarbures aromatiques et les hydrocarbures chlorés. En milieu non aqueux, il libère très rapidement le monomère aldéhyde formique.

### PROPRIÉTÉS CHIMIQUES [1, 4, 6]

L'aldéhyde formique est un composé très réactif et très hygroscopique. Il se polymérise facilement en particulier à froid ou en présence de traces d'impuretés polaires (acides, alcalins) ou d'eau (le gaz pur et sec est relativement stable à 80-100 °C).

Dans l'eau, à température ambiante, l'aldéhyde formique est présent sous forme d'hydrate et de poly(oxyméthylène)glycols, oligomères qui troublent les solutions aqueuses. Le méthanol et certains stabilisants, tels que des dérivés de la cellulose, permettent de ralentir ou d'inhiber la polymérisation.

L'aldéhyde formique s'oxyde lentement dans l'air avec formation d'acide formique ; l'oxydation complète donne du dioxyde de carbone et de l'eau.

En absence de catalyseur, l'aldéhyde formique ne se décompose sensiblement qu'au-dessus de 300 °C ; il se forme principalement du monoxyde de carbone et de l'hydrogène. Des métaux tels que platine, cuivre, chrome, aluminium catalysent la formation de méthanol, formiate de méthyle, acide formique, dioxyde de carbone et méthane.

Il réagit vigoureusement avec les oxydants forts, les acides et les bases. La réaction de condensation du phénol avec l'aldéhyde formique peut être violente, voire explosive. Dans certaines conditions de température et d'humidité, l'action de l'aldéhyde formique sur le chlorure d'hydrogène peut engendrer de l'oxyde de bis(chlorométhyle), cancérigène puissant. L'aldéhyde formique en solution diluée peut réagir avec l'hydroxyde de sodium en libérant de l'hydrogène.

Les solutions d'aldéhyde formique sont légèrement corrosives vis-à-vis de la plupart des métaux.

### Récipients de stockage

Le stockage peut s'effectuer dans des récipients en acier inoxydable, matériaux galvanisés, polyéthylène.

### VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

Des valeurs limites indicatives de moyenne d'exposition pondérée (8 h/jour ; 40 h/semaine) et des valeurs limites indicatives d'exposition à court terme (15 minutes au maximum) dans l'air des locaux de travail ont été établies pour le formaldéhyde.

| PAYS                             | VLEP |                   | Court terme (15 minutes max.) |                   |
|----------------------------------|------|-------------------|-------------------------------|-------------------|
|                                  | ppm  | mg/m <sup>3</sup> | ppm                           | mg/m <sup>3</sup> |
| France (circulaire 1993)         | 0,5  | 0,61              | 1                             | 1,23              |
| États-Unis (ACGIH) (*TLV-STEL-C) | –    | –                 | 0,3*                          | 0,37*             |
| Allemagne (Valeur MAK)           | 0,3  | 0,37              | –                             | –                 |

Dans son rapport d'expertise collective relatif au formaldéhyde publié en décembre 2008, l'Afsset recommande d'abaisser les valeurs limites à 0,2 ppm (soit 0,25 mg/m<sup>3</sup>) pour la valeur limite (8 h) et 0,4 ppm (soit 0,5 mg/m<sup>3</sup>) pour la valeur limite court terme (VLCT) (avis et rapport disponibles sur le site [www.anses.fr](http://www.anses.fr)).

## MÉTHODES DE DÉTECTION ET DE DÉTERMINATION DANS L'AIR

- Prélèvement par pompage de l'air ou par diffusion sur un support imprégné de 2,4-dinitrophénylhydrazine (2,4-DNPH). Le dérivé formé (dinitrophénylhydrazone) est désorbé à l'aide d'acétonitrile puis dosé par chromatographie liquide haute performance avec détection UV [29 à 33].
- L'utilisation d'un appareil à réponse instantanée équipé d'un tube réactif colorimétrique, par exemple DRAEGER (Formaldéhyde 0.2/a équipé d'un tube d'activation) ou GASTEC (n°91 LL), est possible en première approche, mais n'assure toutefois ni la sélectivité ni la précision nécessaires à une comparaison aux valeurs limites d'exposition professionnelle.

## INCENDIE – EXPLOSION

L'aldéhyde formique est un gaz très inflammable qui peut former des mélanges explosifs avec l'air.

Ses solutions aqueuses, stabilisées au méthanol, peuvent s'enflammer (le point d'éclair d'une solution aqueuse à 37 % de formaldéhyde, stabilisée par 15 % de méthanol est d'environ 50 °C) et leurs vapeurs peuvent former des mélanges explosifs avec l'air.

Les agents d'extinction préconisés sont l'eau pulvérisée, le dioxyde de carbone, les poudres chimiques et les mousses spéciales.

Refroidir les récipients ayant été exposés au feu à l'aide d'eau pulvérisée.

Les intervenants, qualifiés, seront équipés d'appareils de protection respiratoire autonomes isolants et de combinaisons spéciales.

## PATHOLOGIE – TOXICOLOGIE

### TOXICOCINÉTIQUE – MÉTABOLISME [3, 8 à 11]

**Par inhalation, l'aldéhyde formique est facilement absorbé dans les voies aériennes supérieures. Il est rapidement métabolisé en formiate et dioxyde de carbone et peut être incorporé dans le métabolisme normal. Au site de contact, il peut également réagir avec les protéines et l'ADN et former des ponts. À des doses modérées, il ne semble pas atteindre la circulation systémique.**

L'aldéhyde formique est une substance endogène naturellement présente chez l'homme à une concentration sanguine d'environ 2,7 mg/L.

Il est rapidement absorbé par voie respiratoire, digestive et plus faiblement par voie percutanée (319 µg/cm<sup>2</sup>/h in

vitro après application d'une solution à 37 % sur de la peau humaine). Plus de 90 % de la dose inhalée sont retenus dans les voies nasales chez le rat. Chez le singe, l'absorption se produit principalement dans les voies aériennes supérieures mais également dans la trachée et les bronches principales.

Chez le rat, la distribution de la radioactivité après inhalation d'aldéhyde formique marqué (15 ppm, 6 h) se fait principalement dans l'œsophage, les reins, le foie, les intestins et les poumons.

En fait, ce n'est pas l'aldéhyde formique lui-même qui est distribué, mais ses métabolites ou les produits de sa réaction avec diverses substances nucléophiles. En effet, dès les muqueuses respiratoires, il est rapidement oxydé en formiate et en dioxyde de carbone par divers systèmes enzymatiques largement distribués et nécessitant notamment la présence de glutathion. Le formiate est alors également incorporé dans les biosynthèses métaboliques.

Par ailleurs, en raison de sa forte réactivité, l'aldéhyde formique peut se lier de manière covalente avec les substances nucléophiles présentes au niveau des revêtements superficiels (mucus, protéines et acides nucléiques des épithéliums...) et former des adduits et des ponts ADN-protéines.

Après injection intraveineuse chez le rat, la demi-vie plasmatique de l'aldéhyde inchangé est donc très brève (environ 1 min 30).

Après inhalation de doses faibles ou modérées, une quantité d'aldéhyde formique négligeable est donc attendue en systémique [11] et aucune augmentation de la concentration sanguine normale n'a effectivement été montrée chez le rat (15 ppm pendant 2 heures), le singe (6 ppm, 6 h/jour, 5 j/semaine pendant 4 semaines) et l'homme (1,9 ppm pendant 40 minutes). Néanmoins, les lésions caustiques au site de contact peuvent favoriser le passage systémique.

L'élimination de l'aldéhyde formique se fait principalement par expiration sous forme de CO<sub>2</sub> (40 %) et par excrétion urinaire de formiate (17 %) chez le rat après inhalation. Une grande partie (35-39 %) reste dans les tissus en raison de son incorporation dans le cycle du carbone.

### Surveillance biologique de l'exposition [34]

Le dosage de l'acide formique urinaire en fin de poste de travail a été proposé pour la surveillance de sujets exposés à de fortes expositions au formaldéhyde ; mais ce paramètre n'est pas spécifique, peu sensible et sa corrélation avec l'intensité de l'exposition est médiocre ; de plus, il est soumis à de larges variations individuelles. Son intérêt dans la surveillance de salariés professionnellement exposés est limité.

Il n'existe pas de valeur guide pour ce paramètre.

## TOXICITÉ EXPÉRIMENTALE

### Toxicité aiguë [3, 8, 10]

**L'aldéhyde formique est toxique par inhalation, ingestion et contact cutané, les symptômes étant principalement liés à ses propriétés irritantes : il est modérément irritant pour la peau mais sévèrement irritant pour les yeux. Les vapeurs induisent une irritation des voies respiratoires et des muqueuses oculaires. C'est également un sensibilisant cutané.**

La CL50 par inhalation chez le rat est de 480 ppm pour une exposition de 4 heures et de 815 ppm pour une exposition de 30 minutes.

Les études expérimentales confirment l'action irritante observée chez l'homme. Une diminution de la motilité ciliaire, responsable d'une chute de la clairance du mucus, a été observée dès 1 ppm sur des préparations de trachée de rat. Histologiquement, des lésions ciliaires et cellulaires au niveau de l'épithélium respiratoire ont été observées chez des rats exposés à 3 ppm pendant 3 jours (6 h/j). Des lésions similaires sont retrouvées chez le singe Rhésus à partir de 6 ppm pendant 5 jours (6 h/j).

La DL50 par voie percutanée est de 270 mg/kg chez le lapin. L'aldéhyde formique, lorsqu'il est appliqué à raison de 50 mg pendant 24 heures sur la peau du lapin, entraîne une irritation cutanée modérée. Il est caustique pour les muqueuses oculaires, même à faible dose (750 µg) [12]. De nombreux tests sur différents modèles (essai de stimulation des ganglions lymphatiques sur souris, essais de Buehler et de maximisation sur cobayes) indiquent que l'aldéhyde formique est un sensibilisant cutané chez l'animal qui induit une réponse modérée à forte à des concentrations non irritantes [13].

Les DL50 par voie orale sont de 800 mg/kg chez le rat et de 260 mg/kg chez le cobaye. L'aldéhyde formique est fortement irritant pour les muqueuses digestives. Des lésions parenchymateuses ont été notées en cas d'intoxication aiguë massive ; il s'agissait de foyers de cytolysse hépatique et d'un œdème rénal.

### Toxicité chronique [3, 8 à 10, 14]

**Par inhalation, l'aldéhyde formique induit des lésions des muqueuses nasales à des concentrations supérieures à 1 ppm chez le rat. Leur localisation dépend de la concentration au site de contact et elles s'étendent plus profondément chez le singe. Aucun effet systémique n'est observé quelles que soient la voie d'administration ou l'espèce testées.**

Les effets de l'exposition répétée à des vapeurs ou des aérosols d'aldéhyde formique ont été étudiés chez plusieurs espèces animales. Le rat semble être l'espèce la plus sensible aux effets du toxique sur les voies respiratoires, probablement car il est moins apte à protéger ses voies respiratoires en réduisant son débit ventilatoire en réponse aux effets irritants.

Des altérations fonctionnelles et des lésions locales ont été décelées chez le rat après des expositions répétées à des concentrations supérieures ou égales à 2 ppm : diminution de la clairance mucociliaire nasale, dysplasie et métaplasie squameuse de l'épithélium respiratoire, hyperplasie des cellules caliciformes et rhinite purulente ou séropurulente. Lorsque les concentrations sont plus élevées, les lésions sont plus sévères et s'étendent dans les fosses nasales, mais la sévérité ne semble pas dépendre de la dose totale administrée. Aucune anomalie n'a été observée pour des concentrations inférieures à 1 ppm.

La localisation des lésions correspond principalement aux zones exposées aux plus fortes doses d'aldéhyde formique. Elles se concentrent dans la partie antérieure des fosses nasales chez le rat. Chez le singe (6 ppm pendant 1 à 6 semaines), elles sont plus postérieures (cornet moyen) et des lésions minimes sont également observées dans la trachée et les bronches principales. Comme chez le rat, la NOAEL chez le singe est de 1 ppm.

L'administration orale d'aldéhyde formique à des chiens (50, 75 ou 100 mg/kg/j) et à des rats (50, 100 ou 150 mg/kg/j) pendant 90 jours ne produit qu'un ralentissement de la prise de poids chez les animaux des deux espèces recevant les plus fortes doses. Aucune lésion organique n'est observée. Administré dans l'eau de boisson pendant 2 ans, il induit une diminution marquée de la consommation hydrique et des lésions des voies digestives à partir de 50 mg/kg/j chez le rat.

L'application cutanée répétée d'aldéhyde formique est responsable d'une irritation dont la gravité dépend de la concentration de la solution utilisée et aucune toxicité systémique n'est observée.

### Effets génotoxiques [3, 8 à 10, 14, 16]

**À des doses irritantes, l'aldéhyde formique induit un faible effet génotoxique limité au site de contact. Cet effet semble lié à sa capacité à former des ponts ADN-protéines.**

La plupart des tests de mutagenèse réalisés *in vitro* sont positifs, quel que soit le matériel utilisé (virus, bactéries, levures, cellules de mammifères), et reflètent une capacité à endommager l'ADN. Le pouvoir mutagène de l'aldéhyde formique est diminué par l'adjonction aux préparations d'un système métabolisant, ce qui indique que c'est probablement le produit qui est génotoxique.

L'aldéhyde formique, très réactif, peut former des ponts ADN-protéines qui peuvent provoquer un blocage de la réplication de l'ADN et être à l'origine des lésions observées sur l'ADN.

*In vivo*, l'aldéhyde formique induit à des doses irritantes un faible effet génotoxique au site de contact par ingestion et par inhalation. La présence de ponts ADN-protéines a également été observée au site de contact par inhalation mais l'absence d'accumulation suggère l'existence d'un mécanisme d'élimination rapide de ses liaisons.

En revanche, aucune étude fiable ne montre un effet génotoxique ou des liaisons covalentes de l'aldéhyde formique avec l'ADN à distance du point de contact chez les mammifères.

### Effets cancérigènes [3, 8 à 10, 14]

**Par inhalation, l'aldéhyde formique est un cancérigène local avec un effet seuil : il induit des carcinomes épidermoïdes des fosses nasales chez le rat et l'apparition des tumeurs semble liée à la prolifération cellulaire en réponse aux effets irritants chroniques.**

Par inhalation, l'aldéhyde formique induit des carcinomes épidermoïdes des fosses nasales chez le rat à partir de 5,6 ppm, 6 h/j et 5 j/sem., pendant 24 mois. Aucune tumeur n'est observée à des concentrations inférieures ou égales à 2 ppm, mais l'incidence des tumeurs augmente rapidement au-delà de 5,6 ppm. La fréquence de ces tumeurs est également augmentée chez les souris exposées à 14,3 ppm mais de façon statistiquement non significative. L'exposition à 10 ppm d'aldéhyde formique, 5 h/j, 5 j/sem., pendant toute la vie, n'induit pas de tumeur de l'arbre respiratoire chez le hamster.

Cette différence de sensibilité inter-espèces est similaire à celle observée pour les effets d'irritation des voies respiratoires, et la localisation des tumeurs correspond également aux zones lésées. Les tumeurs apparaissent en présence de signes d'irritation chronique qui sont observés dès 2 ppm et des études récentes montrent que

l'induction des tumeurs est vraisemblablement liée au phénomène de prolifération cellulaire en réponse à l'irritation [17, 18]. Le faible pouvoir génotoxique de l'aldéhyde formique, qui ne s'exprime pas à faible dose car les mécanismes de protection cellulaire sont alors capables de réparer les lésions induites, est amplifié à forte dose par la prolifération cellulaire réactionnelle et peut expliquer la relation dose-réponse particulière qui est observée.

Le pouvoir cancérigène de l'aldéhyde formique administré par d'autres voies (orale, sous-cutanée) a fait l'objet de plusieurs études. Leurs résultats sont discordants. Toutes ces études souffrent de biais méthodologiques qui en empêchent l'interprétation.

### Effets sur la reproduction [3, 8 à 10, 14]

**Les études disponibles ne montrent pas d'effet spécifique de l'aldéhyde formique sur la reproduction.**

Les effets de l'aldéhyde formique sur la reproduction ont été étudiés chez le chien, le hamster et le rat. Le produit était administré par voies respiratoire (2 à 39 ppm), orale (5 à 375 ppm dans l'eau de boisson ; 74 à 185 mg/kg par gavage) ou percutanée (application de 185 mg), pendant des périodes variables avant et/ou pendant l'accouplement et la gestation.

Aucun effet tératogène n'a été mis en évidence. Aux doses étudiées, l'aldéhyde formique ne modifie pas la fertilité des animaux des 2 sexes. Des effets fœtotoxiques apparaissent aux plus fortes doses (supérieures à 10 ppm par inhalation ; 185 mg/kg par jour par voie orale) mais peuvent être dus à la toxicité maternelle [15] ou à la taille importante des portées. Deux études signalent une prolongation de la gestation dans les groupes traités par l'aldéhyde formique.

Des études par voie intrapéritonéale ont montré l'induction d'anomalies du sperme chez le rat et la souris vraisemblablement dues aux propriétés cytotoxiques de l'aldéhyde formique libre en l'absence de métabolisation au site de contact.

## TOXICITÉ SUR L'HOMME

### Toxicité aiguë [19, 21 à 24]

La perception olfactive et la sensibilité aux effets irritants de l'aldéhyde formique varient d'un individu à l'autre. L'odeur est perçue à des concentrations comprises entre 0,1 et 1 ppm. L'irritation des muqueuses nasales est ressentie par la plus grande partie de la population à des concentrations comprises entre 1 et 3 ppm et s'aggrave rapidement lorsque le taux atmosphérique s'élève. La plupart des individus ne peuvent tolérer une exposition prolongée à 4-5 ppm. À 10-20 ppm, des signes d'irritation sévère des muqueuses oculaires et des voies respiratoires surviennent dès le début de l'exposition. Un séjour, même bref, dans une atmosphère où la concentration d'aldéhyde formique est supérieure à 50 ppm peut être responsable d'un bronchospasme sévère et de lésions caustiques graves de l'arbre respiratoire (œdème pulmonaire aigu, ulcérations trachéales et bronchiques...).

L'exposition de volontaires sains, non-fumeurs, à 2 ppm pendant 40 minutes, au repos ou avec un exercice modéré (pendant 10 minutes sur 40), ne modifie pas les débits respiratoires au cours des 24 heures suivantes et n'induit pas d'hyperréactivité bronchique.

Chez des volontaires sains soumis à des concentrations de 0,3-0,5-1 ou 2 mg/m<sup>3</sup> (environ 0,25 à 1,8 ppm), 5 heures par jour pendant 4 jours, la fonction respiratoire (évaluée par étude spirométrique) n'est pas altérée ; il n'y a pas non plus de diminution des performances intellectuelles (tests mathématiques). La clairance mucociliaire nasale est diminuée significativement dans tous les groupes, sauf celui exposé à 1 mg/m<sup>3</sup> (environ 0,9 ppm). De même, une exposition à 0,12 ou 0,85 mg/m<sup>3</sup> (0,1 à 0,7 ppm) pendant 2 heures ne modifie pas les débits ventilatoires d'asthmatiques ayant une hyperréactivité bronchique.

L'ingestion d'aldéhyde formique est suivie de troubles digestifs dont l'intensité dépend de la concentration et de la quantité de la solution ingérée. Lorsqu'elles sont importantes, l'aldéhyde formique se comporte comme un caustique puissant. Les douleurs buccales, rétro-sternales et épigastriques sont intenses. L'examen oropharyngé et la fibroscopie œsogastroduodénale permettent de faire le bilan des lésions. Celles-ci risquent d'être initialement sous-estimées, car elles se constituent lentement et ont un aspect particulier : la paroi est figée, atone, décolorée, mais la muqueuse est initialement parfaitement conservée (telle une préparation anatomique fixée par l'aldéhyde formique). L'intoxication systémique par l'aldéhyde formique est responsable d'une atteinte polyviscérale se manifestant par un coma souvent convulsif, une cytolase hépatique, des troubles cardiovasculaires (tachycardie sinusale et vasoconstriction initiales puis vasodilatation, hypotension, voire collapsus cardiovasculaire), une hémolyse modérée et une néphropathie tubulaire. En cas d'intoxication sévère, une acidose métabolique intense et une coagulopathie de consommation sont habituelles. À court terme, les complications les plus fréquentes sont les perforations et les hémorragies digestives d'une part, les syndromes de détresse respiratoire (révélant un œdème laryngé, une destruction du carrefour aérodigestif, une pneumopathie d'inhalation ou une fistule œsotrachéale) d'autre part. L'évolution ultérieure est dominée par le risque de constitution de sténoses digestives.

Les signes d'irritation oculaire sont ressentis pour des concentrations comprises entre 0,1 et 1 ppm, selon les individus. À 1 ppm, tous les sujets exposés sont irrités. La projection oculaire de solutions très diluées (0,2%) produit une sensation de picotement et une hyperhémie conjonctivale qui régressent rapidement après décontamination. Avec les solutions concentrées (40%), des lésions caustiques graves du globe oculaire ont été observées. Elles sont souvent sous-estimées par l'examen initial à la lampe à fente, car l'aldéhyde formique conserve l'aspect des tissus contaminés. Si une décontamination précoce n'est pas réalisée, des lésions sévères (opacités cornéennes, glaucome, iritis, destruction du globe oculaire) sont possibles.

L'application cutanée d'une solution à 1% d'aldéhyde formique est faiblement irritante. Les solutions concentrées sont caustiques.

### Toxicité chronique [10, 20, 24 à 28]

Diverses études épidémiologiques portant sur des sujets exposés professionnellement à l'aldéhyde formique mettent en évidence une prévalence élevée de différents symptômes ; toutefois, il est souvent difficile d'attribuer les effets constatés au seul aldéhyde formique à cause de nombreuses co-expositions (solvants, poussières de bois, phénol...). Les principaux signes rapportés comprennent :

- des signes subjectifs d'irritation des muqueuses oculaires et des voies respiratoires pour des expositions souvent supérieures à 1 ppm ;
- des manifestations évoquant une pathologie respiratoire chronique ;
- des altérations permanentes ou rythmées par le travail des épreuves fonctionnelles respiratoires ; les concentrations moyennes d'exposition sont évaluées à 0,5 ppm ;
- et des lésions de l'épithélium respiratoire nasal.

De nombreuses études ont également rapporté une prévalence élevée de signes d'irritation oculaire et cutanée modérée dans les populations exposées à de faibles concentrations d'aldéhyde formique (inférieures à 1 ppm) en dehors de leur travail (habitations isolées avec des résines urée-formol).

L'aldéhyde formique est un puissant allergène ; il peut être responsable de sensibilisations cutanées (eczéma, urticaire) et respiratoires (rhinite, asthme), voire d'un choc anaphylactique (accidents d'hémodialyse).

Plusieurs études épidémiologiques ont mis en évidence des manifestations évoquant un psychosyndrome organique (céphalées, asthénie, troubles de la mémoire, de l'humeur et du sommeil...) chez les individus exposés à l'aldéhyde formique et à des solvants organiques. Du fait de ces co-expositions, il n'est pas possible d'imputer de façon certaine les troubles décrits au seul aldéhyde formique. Cependant, dans certains cas, les altérations neurocomportementales ont pu être reliées au degré d'exposition à l'aldéhyde formique.

### Effets génotoxiques [7, 10]

Les résultats des nombreuses études réalisées chez des travailleurs exposés à l'aldéhyde formique (industrie du bois, services d'anatomo-pathologie) sont discordants. Le produit induit des liaisons ADN-protéines dans les lymphocytes circulants. Les recherches de micronoyaux, d'aberrations chromosomiques, d'échange de chromatides sœurs sont parfois positives sur des cellules nasales ou buccales mais également sur des lymphocytes. Ces effets ne sont pas dépendants de la concentration d'exposition et sont largement variables en fonction des co-expositions.

### Effets cancérigènes [10]

**Au niveau de l'Union européenne, une proposition de révision du classement cancérigène du formaldéhyde (actuellement classé cancérigène catégorie 2 selon le règlement CLP<sup>(\*)</sup>) est en cours de discussion.**

**En 2004, le CIRC a classé l'aldéhyde formique dans le groupe 1 des agents cancérigènes pour l'homme. Et en 2007, en France, le ministère chargé du travail a ajouté les travaux exposant au formaldéhyde à la liste des procédés considérés comme cancérigènes.**

L'avis du CIRC se base sur les résultats de plusieurs études épidémiologiques et d'une méta-analyse publiée en 1997 qui mettent en évidence une augmentation de l'incidence de cancers nasopharyngés chez des sujets fortement exposés professionnellement (embaumeurs ou salariés d'industries utilisant l'aldéhyde formique). Il est très peu probable que cette augmentation du nombre de cancers puisse être expliquée par des facteurs confondants ou des biais dans les études.

<sup>\*</sup> Cancérigène catégorie 3, R 40 selon la directive 67/548/CEE.

On suspecte également la possibilité d'un lien entre les expositions à l'aldéhyde formique dans certaines professions (embaumeurs, anatomo-pathologistes, employés de morgues) et la survenue de leucémies, principalement de type myéloïde. Cependant, si le doute est fort, une liaison formelle n'a pas été actuellement retenue du fait d'études épidémiologiques négatives dans certains secteurs industriels utilisant le formol et de l'absence d'effet dose-réponse dans certaines autres.

Plusieurs études cas-témoins ont montré une augmentation du nombre de carcinomes des sinus avec un effet dépendant de la dose. Ces résultats sont contredits par des études de cohorte récentes qui n'ont pas montré d'effet chez des travailleurs de l'industrie ou de la confection. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que certaines études cas-témoins n'ont pas pris en compte de façon satisfaisante l'exposition aux poussières de bois.

D'autres sites de cancers (cavité buccale, pancréas, cerveau, poumons...) ont été évoqués dans certaines études sans qu'un lien de causalité formel puisse toutefois être mis en évidence avec l'exposition à l'aldéhyde formique.

### Effets sur la reproduction [10]

On dispose des résultats de 11 études épidémiologiques qui ont évalué les effets des expositions à l'aldéhyde formique sur les différents paramètres de la reproduction (fertilité, avortement, poids de naissance, malformation, endométriose). Les seuls effets parfois observés sont une augmentation des avortements spontanés et une diminution du poids de naissance ; ces résultats restent toutefois douteux et le rôle de certains autres facteurs de risque ne peut être exclu.

## RÉGLEMENTATION

*Rappel* : La réglementation citée est celle en vigueur à la date d'édition de cette fiche : 3<sup>e</sup> trimestre 2011.

Les textes cités se rapportent essentiellement à la prévention du risque en milieu professionnel et sont issus du Code du travail et du Code de la sécurité sociale. Les rubriques « Protection de la population » et « Protection de l'environnement » ne sont que très partiellement renseignées.

### HYGIÈNE ET SÉCURITÉ DU TRAVAIL

- Mesures de prévention des risques chimiques (agents chimiques dangereux)**
  - Articles R. 4412-1 à R. 4412-58 du Code du travail.
  - Circulaire DRT n° 12 du 24 mai 2006 (non parue au JO).
- Mesures de prévention des risques chimiques (agents CMR)**
  - Articles R. 4412-59 à R. 4412-93 du Code du travail.
  - Arrêté du 13 juillet 2006 (JO du 26 juillet 2006 modifiant l'arrêté du 5 janvier 1993) : les travaux exposant au formaldéhyde sont ajoutés à la liste des procédés

considérés comme cancérogènes selon les critères définis à l'article R. 231-56 du code du travail.

- Circulaire DRT n° 12 du 24 mai 2006 (non parue au JO).

### 3. Aération et assainissement des locaux

- Articles R. 4222-1 à R. 4222-26 du Code du travail.
- Arrêtés des 8 et 9 octobre 1987 (JO du 22 octobre 1987) et du 24 décembre 1993 (JO du 29 décembre 1993) relatifs aux contrôles des installations.
- Circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 (non parue au JO).

### 4. Prévention des incendies et des explosions

- Articles R. 4227-1 à R. 4227-41 du Code du travail.
- Articles R. 4227-42 à R. 4227-54 du Code du travail
- Décret 96-1010 modifié du 19 novembre 1996 (JO du 24 novembre 1996) relatif aux appareils destinés à être utilisés en atmosphère explosible.

### 5. Valeurs limites d'exposition professionnelle

- Circulaire du 12 juillet 1993 modifiant la circulaire du ministère du Travail du 19 juillet 1982 (non parues au JO).

### 6. Maladies à caractère professionnel

- Articles L. 461-6 et D. 461-1 et annexe du Code de la sécurité sociale : déclaration médicale de ces affections.

### 7. Maladies professionnelles

- Article L. 461-4 du Code de la sécurité sociale : déclaration obligatoire d'emploi à la Caisse primaire d'assurance maladie et à l'inspection du travail ; tableaux n°s 43 et 43bis.

### 8. Surveillance médicale renforcée

- Arrêté du 11 juillet 1977 (JO du 24 juillet 1977) fixant la liste des travaux nécessitant une surveillance médicale spéciale et circulaire du 29 avril 1980 (non parue au JO).

### 9. Classification et étiquetage

L'étiquette doit être conforme au règlement CLP à compter du 1<sup>er</sup> décembre 2010 pour les substances et du 1<sup>er</sup> juin 2015 pour les mélanges.

#### a) **aldéhyde formique** en solution (\*)

Le règlement CLP (règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 (L 353, JOUE du 31 décembre 2008)) introduit dans l'Union européenne le nouveau système général harmonisé de classification et d'étiquetage ou SGH. La classification et l'étiquetage de l'aldéhyde formique en solution, harmonisés selon les deux systèmes (règlement et directive 67/548/CEE), figurent dans l'annexe VI du règlement CLP.

La classification est :

#### – selon le règlement (CE) n° 1272/2008 (\*)

- Cancérogénicité, catégorie 2 ; H 351 (concentration  $\geq 1$  %)
- Toxicité aiguë catégorie 3 ; H 331 – H 311 – H 301 (\*)
- Corrosion cutanée, catégorie 1B ; H 314 (concentration  $\geq 25$  %)
- Sensibilisation cutanée, catégorie 1 ; H 317 (concentration  $\geq 0,2$  %).

(\*) Le règlement CLP n'indique ni limite générale ni limite spécifique de concentration pour la toxicité aiguë.

#### – selon la directive 67/548/CEE

- Cancérogène, catégorie 3 ; R 40 (concentration  $\geq 1$  %)
- Toxique ; R 23/24/25 (concentration  $\geq 25$  %)
- Corrosif ; R 34 (concentration  $\geq 25$  %)
- Sensibilisant ; R 43 (concentration  $\geq 0,2$  %).

Se reporter aux étiquettes au début de la fiche toxicologique.

#### b) **mélanges** (préparations) contenant de l'aldéhyde formique :

- Règlement (CE) n° 1272/2008

ou

- Arrêté du 9 novembre 2004 modifié (JO du 18 novembre 2004) transposant la directive 1999/45/CE.

Des limites spécifiques figurent à l'annexe VI du règlement CLP (\*).

### 10. Entreprises extérieures

- Arrêté du 19 mars 1993 (JO du 27 mars 1993) fixant la liste des travaux dangereux pour lesquels il est établi par écrit un plan de prévention.

## INTERDICTION/LIMITATION DE MISE SUR LE MARCHÉ ET D'EMPLOI

### Produits biocides

Ils sont soumis à la réglementation biocides (articles L. 522-1 et suivants du Code de l'environnement). À terme, la totalité des produits biocides seront soumis à des autorisations de mise sur le marché.

L'aldéhyde formique est une substance active identifiée à l'annexe I et notifiée à l'annexe II du règlement (CE) n° 1451/2007 pour différents types de produits biocides.

À la date de publication de cette fiche, l'aldéhyde formique peut être présent dans les types de produits suivants : TP 1 (Produits biocides destinés à l'hygiène humaine), TP 2 (Désinfectants utilisés dans le domaine privé et dans le domaine de la santé publique et autres produits biocides) ; TP 3 (Produits biocides destinés à l'hygiène vétérinaire) ; TP 5 (Désinfectants pour eau de boisson) ; TP 9 (Produits de protection des fibres, du cuir, du caoutchouc et des matériaux polymérisés) ; TP 20 (Produits de protection des denrées alimentaires destinées à l'alimentation humaine ou des aliments pour animaux) ; TP 22 (Fluides utilisés pour l'embaumement et la taxidermie) ; TP 23 (Lutte contre d'autres vertébrés).

L'aldéhyde formique ne peut plus être utilisé dans les TP 11 (Produits de protection des liquides utilisés dans les systèmes de refroidissement et de fabrication), TP 12 (Produits anti-moisissures) et TP 13 (Produits de protection des fluides utilisés dans la transformation des métaux) depuis le 21/08/2009 (décision de la Commission européenne n° 2008/681/UE) et l'utilisation de TP 11, 12 ou 13 renfermant de l'aldéhyde formique est interdite en France depuis le 21/02/2010 (arrêté du 9 septembre 2009).

L'aldéhyde formique ne peut plus être utilisé dans les TP 4 (Désinfectants pour les surfaces en contact avec les denrées alimentaires) et les TP 6 (Produits de protection utilisés à l'intérieur des conteneurs) à compter du 01/11/2011 (décision de la Commission européenne n° 2010/675/UE) et l'utilisation de TP 4 ou TP 6 renfermant de l'aldéhyde formique sera interdite en France au 01/05/2012 (arrêté du 28 décembre 2010).

Pour plus d'information, consulter le ministère chargé de l'environnement.

## PROTECTION DE LA POPULATION

- Article L. 5132-2, articles R. 5132-43 à R. 5132-73 et R. 1342-1 à R. 1342-12 du Code de la santé publique :
  - détention dans des conditions déterminées (art. R. 5132-66) ;
  - étiquetage (cf. 9) ;
  - cession réglementée (art. R. 5132-58 et R. 5132-59).

## PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Installations classées pour la protection de l'environnement, Paris, imprimerie des Journaux officiels, brochure n° 1001 :

- n° 1130 : fabrication industrielle de substances et préparations toxiques.
- n° 1131 : emploi ou stockage de substances et préparations toxiques.
- n° 1140 : fabrication, emploi ou stockage du formaldéhyde de concentration  $\geq 90\%$ .

## TRANSPORT

Se reporter éventuellement aux règlements suivants.

### 1. Transport terrestre national et international (route, chemin de fer, voie de navigation intérieure)

ADR, RID, ADN R :

- *formaldéhyde en solution contenant au moins 25% de formaldéhyde*  
N° ONU : 2209  
Classe : 8  
Groupe d'emballage : III
- *formaldéhyde en solution inflammable*  
N° ONU : 1198  
Classe : 3  
Groupe d'emballage : III

### 2. Transport par air

- IATA

### 3. Transport par mer

- IMDG

## RECOMMANDATIONS

**Les travaux exposant au formaldéhyde ont été ajoutés à la liste des procédés considérés comme cancérogènes depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2007, les règles particulières de prévention des risques d'exposition aux agents cancérogènes sont applicables à ces travaux.**

### I. AU POINT DE VUE TECHNIQUE

#### Stockage

■ Stocker les solutions d'aldéhyde formique dans des locaux frais, bien ventilés, à l'abri des rayons solaires et à l'écart de toute source d'ignition et de matières inflammables, d'oxydants et de produits alcalins. La température de ces locaux sera conforme aux instructions du fournisseur (entre 6 et 35°C, selon la concentration en aldéhyde formique et la teneur en méthanol).

■ Le sol des locaux sera imperméable et formera une cuvette de rétention afin qu'en cas de déversement accidentel, les solutions ne puissent se répandre au-dehors.

■ Prendre toute disposition pour éviter l'accumulation d'électricité statique.

■ Interdire de fumer.

■ Mettre le matériel, notamment le matériel électrique y compris l'éclairage, en conformité à la réglementation en vigueur.

■ Les récipients seront soigneusement fermés et étiquetés. Reproduire l'étiquetage en cas de fractionnement des emballages.

■ Prévoir, à proximité des locaux, des équipements complets de protection individuelle, y compris des appareils de protection respiratoire autonomes pour les interventions d'urgence, un poste d'eau à débit abondant, des douches de sécurité et des fontaines oculaires.

#### Manipulation

Les prescriptions relatives aux locaux de stockage sont applicables aux ateliers où sont manipulées les solutions d'aldéhyde formique. En outre :

■ Instruire le personnel des risques présentés par le produit, des précautions à observer et des mesures à prendre en cas d'accident. Les procédures spéciales en cas d'urgence feront l'objet d'exercices d'entraînement.

■ Toutes dispositions doivent être prises pour empêcher ou, à défaut, réduire au niveau le plus bas possible, l'exposition au formaldéhyde.

■ Éviter l'inhalation de gaz, de vapeurs ou d'aérosols. Effectuer en appareil clos toute opération industrielle qui s'y prête. Prévoir une aspiration du produit à sa source d'émission. Prévoir également des appareils de protection respiratoire pour certains travaux de courte durée à caractère exceptionnel ou pour les interventions d'urgence.

■ Éviter tout contact du produit avec la peau et les yeux. Mettre à la disposition du personnel des vêtements de protection, bottes, gants (en caoutchouc nitrile ou caoutchouc butyle ou néoprène par exemple ; certaines matières telles que le caoutchouc naturel, l'alcool polyvinylique et le polyéthylène sont déconseillés pour les solutions concentrées (> 30%) [35]) et lunettes de sécurité. Ces effets seront maintenus en bon état et nettoyés après usage.

■ Contrôler régulièrement la teneur de l'atmosphère en formaldéhyde.

■ Prévoir l'installation de douches et de fontaines oculaires.

■ Ne pas boire ou manger dans les ateliers. Observer une hygiène corporelle et vestimentaire très stricte : passage à la douche et changement de vêtements après le travail. L'employeur assurera l'entretien et le lavage fréquent des vêtements de travail qui devront rester dans l'entreprise.

■ Ne jamais procéder à des travaux sur et dans des cuves et réservoirs contenant ou ayant contenu des solutions d'aldéhyde formique sans prendre les précautions d'usage [36].

■ Éviter les rejets atmosphériques et aqueux pollués par l'aldéhyde formique.

■ En cas de fuite ou de déversement accidentel, récupérer

le produit au moyen d'un matériau absorbant inerte. Si les quantités répandues sont importantes, évacuer le personnel en ne faisant intervenir que des opérateurs entraînés munis d'un équipement de protection adapté.

- Conserver les déchets dans des récipients spécialement prévus à cet effet, convenablement étiquetés; les éliminer dans les conditions autorisées par la réglementation.

## II. AU POINT DE VUE MÉDICAL

### À l'embauchage et aux examens périodiques

- Éviter d'exposer à l'aldéhyde formique les personnes ayant une maladie respiratoire chronique, une dermatose des parties découvertes en poussée ou des antécédents d'allergie à l'aldéhyde formique. Si l'exposition doit être régulière, l'examen clinique d'embauchage sera utilement complété par des épreuves fonctionnelles respiratoires dont les résultats pourront être comparés à ceux des examens ultérieurs.

- L'interrogatoire et l'examen clinique rechercheront particulièrement une irritation oculaire, respiratoire ou cutanée, une allergie cutanée ou respiratoire, une affection respiratoire chronique, des signes évoquant un psychosyndrome organique. S'ils découvrent des anomalies, les données cliniques seront complétées par les examens complémentaires que le médecin du travail estimera nécessaires. Les épreuves fonctionnelles respiratoires pourront systématiquement être répétées à intervalles réguliers.

- Du fait de la présence de formol liée notamment à des voies métaboliques normales de l'organisme et à la demi-

vie brève de cette molécule, les dosages urinaires et sanguins sont d'un intérêt limité pour la surveillance de l'exposition professionnelle car ces indicateurs sont peu sensibles. Ils sont surtout utilisés lors d'intoxications aiguës.

### En cas d'accident

- Lors d'accidents aigus, demander, dans tous les cas, l'avis d'un médecin ou du centre antipoison.

- En cas de contact cutané, laver immédiatement à grande eau pendant 15 minutes. Retirer les vêtements souillés. Si des lésions cutanées apparaissent ou si la contamination est étendue ou prolongée, consulter un médecin.

- En cas de projection oculaire, laver immédiatement et abondamment à l'eau ou au sérum physiologique pendant 15 minutes. Dans tous les cas, consulter ensuite un ophtalmologiste qui doit être prévenu de l'aspect trompeur des lésions à un stade précoce.

- En cas d'inhalation massive de vapeurs ou aérosols, retirer le sujet de la zone polluée après avoir pris toutes les précautions nécessaires; le faire transférer en milieu hospitalier par ambulance médicalisée. En attendant les secours, déshabiller la victime et commencer une décontamination cutanée et oculaire soigneuse. Mettre en œuvre, s'il y a lieu, des manœuvres de réanimation. Une surveillance médicale prolongée est toujours nécessaire.

- En cas d'ingestion, quelles que soient la quantité et la concentration du produit, ne pas tenter de faire vomir. Faire hospitaliser la victime dans les plus brefs délais en milieu de réanimation par une ambulance médicalisée.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Kirk-Othmer – Encyclopedia of chemical technology. Vol 11. New York: John Wiley and sons; 1994 : 929-947.
2. Formaldehyde – IUCLID Dataset – European Commission – European Chemicals Bureau, 2000 (ecb.jrc.it).
3. Formaldéhyde – OECD – SIDS, Initial assessment report – UNEP publications, 2002 ([www.chem.unep.ch/irptc/sids/oecdsids/sidspub.html](http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/oecdsids/sidspub.html)).
4. The Merck Index, 13<sup>e</sup> ed., Budavari. Merck and Co; 2001 : 4261.
5. Formaldehyde – In: Base de données HSDB. NLM, 2003 (toxnet.nlm.nih.gov).
6. Morandini MT, Maberti S – Aldehydes and acetals. In: Patty's Toxicology, 5<sup>e</sup> éd., vol. 5, Ed. Eula Bingham, Cochrssen Barbara, and Powell Charles P. New York : John Wiley and Sons ; 2001 : 979-989.
7. Formaldehyde. IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks to Humans. Vol 65. IARC ; 1995 : 217-243 ([www.iarc.fr](http://www.iarc.fr)).
8. Formaldehyde (123). The Nordic expert group for criteria documentation of health risks from chemicals and the Dutch expert committee on occupational standards. National Institute for Working Life. Stockholm, Sweden, 2003 ([www.arbetslivsinstitutet.se/publikationer/en/](http://www.arbetslivsinstitutet.se/publikationer/en/)).
9. Formaldehyde. CICADS 40. International Programme on Chemical Safety (IPCS). Genève : OMS ; 2002.
10. Formaldehyde. IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks to Humans. Vol 88. IARC ; 2006 : 39-324 ([www.iarc.fr](http://www.iarc.fr)).
11. Franks SJ – A mathematical model for the absorption and metabolism of formaldehyde vapour by humans. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2005 ; 206 : 309-320.
12. Maurer JK et al. – Pathology of ocular irritation with acetone, cyclohexanol, parafluoroaniline, and formaldehyde in the rabbit low-volume eye test. *Toxicol Pathol.* 2001 ; 29(2) : 187-99.
13. Basketter DA et al. – Human potency predictions for aldehydes using the local lymph node assay. *Contact Dermatitis.* 2001 : 45-89.
14. Formaldéhyde. Rapport d'évaluation. Environnement Canada & Santé Canada, Ottawa, 2001 ([www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl2-lsp2/formaldehyde/index\\_f.html](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl2-lsp2/formaldehyde/index_f.html)).
15. Saillenfait AM et al. – The effects of maternally inhaled formaldehyde on embryonal and foetal development in rats. *Food Chem Toxicol.* 1989 ; 27 : 545-548.
16. Heck H d'A et al. – Pharmacodynamics of formaldehyde: applications of a model for the arrest of DNA replication by DNA-protein crosslinks. *Toxicol Appl Pharmacol.* 1999 ; 160 : 86-100.
17. Conolly RB et al. – Human respiratory tract cancer risks of inhaled formaldehyde: dose-response predictions derived from biologically-motivated computational modeling of a combined rodent and human dataset. *Toxicol Sci.* 2004 ; 82(1) : 279-96.
18. Monticello TM et al. – Correlation of regional and nonlinear formaldehyde-induced nasal cancer with proliferating populations of cells. *Cancer Research.* 1996 ; 56 : 1012-1022.
19. Grant MW – Toxicology of the eye. Springfield, Charles C. Thomas, 3<sup>rd</sup> edition. 1986 : 442-446.
20. Report of federal pannel on formaldehyde. *Envir Res.* 1982 ; 43 : 139-168.
21. Schachter EN et al. – A study of respiratory effects from exposure to 2 ppm formaldehyde in healthy subjects. *Arch Environ Health.* 1986 ; 41 : 229-239.
22. Chataigner D – Aldéhydes et acétals. In: Bismuth C et al. (5<sup>e</sup> éd.) – Toxicologie clinique. Flammarion ; 2000 : 897-900.
23. Bender JR et al. – Eye irritation response of humans to formaldehyde. *Am Ind Assoc J.* 1983 ; 44 : 463-465.
24. Harving H et al. – Low concentrations of formaldehyde in bronchial asthma: a study of exposure under controlled conditions. *Brit Med J.* 1986 : 293-310.
25. Main DM, Hogan TJ – Health effects of low-level exposure to formaldehyde. *J Occup Med.* 1983 ; 25 : 896-900.
26. Kilburn KH et al. – Pulmonary and neurobehavioral effects of formaldehyde exposure. *Arch Environ Health.* 1985 ; 40 : 254-260.
27. Kilburn KH, Warshaw R, Thornton JC – Formaldehyde impairs memory, equilibrium and dexterity in histology technicians : effects which persist for days after exposure. *Arch Environ Health.* 1987 ; 42 : 117-120.
28. Saurel-Cubizolles MJ et al. – Neuropsychological symptoms and occupational exposure to anaesthetics. *BJM.* 1992 ; 49 (4) : 276-281.
29. Aldéhydes. Fiche 001. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2007 ([www.inrs.fr/metro/pol/](http://www.inrs.fr/metro/pol/)).
30. Qualité de l'air. Air des lieux de travail. Prélèvement et dosage d'aldéhydes par pompage sur supports imprégnés de DNPH et dosage par chromatographie en phase liquide CLHP. Norme NF X 43-264. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2011.
31. Formaldehyde. Method 2016. In: NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 4<sup>th</sup> edition. NIOSH, 2003 ([www.cdc.gov/niosh/nmam](http://www.cdc.gov/niosh/nmam))
32. BIA 7520 – Formaldehyd. BIA-Arbeitsmappe, Messung von Gefahrstoffen, Erich Schmidt Verlag (2007).
33. MDHS 78. Formaldehyde in air. Laboratory method using a diffusive sampler, solvent desorption and high performance liquid chromatography. HSE, 1994 ([www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/](http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/))
34. Benzène. In : BIOTOX. Guide biotoxicologique pour les médecins du travail. Inventaire des dosages biologiques disponibles pour la surveillance des sujets exposés à des produits chimiques. INRS, 2010 ([www.inrs.fr/biotox](http://www.inrs.fr/biotox)).
35. Forsberg K, Mansdorf SZ – Quick selection guide to chemical protective clothing. 5<sup>th</sup> ed. Hoboken : John Wiley and Sons ; 2007 : 203 p.
36. Cuves et réservoirs. Recommandation CNAMTS R 435. Paris : INRS ; 2008.



Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles  
30, rue Olivier-Noyer 75680 Paris cedex 14 • Tél. 01 40 44 30 00 • Fax 01 40 44 30 99 • Internet : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) • e-mail : [info@inrs.fr](mailto:info@inrs.fr)

**CHAPITRE II : PREVENTION DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE**

**ARTICLE 1 - GENERALITES**

**1.1 – Captation**

Les installations susceptibles de dégager des fumées, gaz, poussières ou odeurs gênantes sont munies de dispositifs permettant de collecter à la source et canaliser les émissions pour autant que la technologie disponible et l'implantation des installations le permettent et dans le respect des règles relatives à l'hygiène et à la sécurité des travailleurs.

Ces dispositifs de collecte et canalisation, après épuration des gaz collectés, sont munis d'orifices obturables et accessibles aux fins des analyses précisées par le présent arrêté ou la réglementation en vigueur.

La forme du conduit d'évacuation, notamment dans la partie la plus proche du débouché à l'atmosphère, est conçue de manière à favoriser au maximum l'ascension et la dispersion des gaz dans l'atmosphère.

L'ensemble de ces installations satisfait par ailleurs la prévention des risques d'incendie et d'explosion.

Les justificatifs du respect de ces dispositions (notes de calcul, paramètres des rejets, optimisation de l'efficacité énergétique...) sont conservés à la disposition de l'inspection des installations classées.

**1.2 – Brûlage à l'air libre**

Le brûlage à l'air libre est interdit.

**ARTICLE 2 - TRAITEMENT DES REJETS**

**2.1 – Traitement des rejets canalisés des lignes de fabrication**

Les rejets canalisés de la ligne d'apprêtage de toiles et des deux lignes de production d'abrasifs appliqués sont traités par un oxydateur thermique comprenant deux entités, dont le rendement est supérieur à 98 %.

La température d'incinération des rejets canalisés est au minimum de 800°C. Cette température ainsi que les autres paramètres de fonctionnement de l'oxydateur dont notamment :

- la consommation de gaz naturel des brûleurs d'appoint ;
- les débits de gaz rejetés à l'atmosphère ou tout autre paramètre permettant de définir les débits de gaz rejetés ;

font l'objet d'une mesure et d'un enregistrement en continu. Les enregistrements sont conservés pendant une période d'un an.

La baisse de la température d'incinération au-dessous de 800°C entraîne automatiquement le déclenchement d'une alarme sonore et visuelle au niveau du poste de commande de l'oxydateur et d'une alarme sonore et visuelle au niveau du poste de gardiennage de l'établissement.

La mise en fonctionnement des dispositifs d'aspiration des rejets canalisés des lignes de fabrication est asservie au respect de la température minimale d'incinération de 800°C.



## B Caractéristiques techniques

| Installation d'OTR, Q7300                                   | Conception                        |
|---|-----------------------------------|
| Volume d'air d'extraction pour fonctionnement normal        | 60.000 Nm <sup>3</sup> /h         |
| Température de l'air d'extraction                           | env. 70 °C                        |
| Volume d'air de combustion                                  | 2600 Nm <sup>3</sup> /h           |
| Volume d'air d'étanchéité                                   | 200 Nm <sup>3</sup> /h            |
| Température des gaz épurés                                  | 100-130 °C                        |
| Température de réaction                                     | 800-850 °C                        |
| Différence de température gaz épurés / air d'extraction     | env. 40 K                         |
| Vitesse du rotor  | 1,0 t/min                         |
| <b>Encombrement de l'incinérateur</b>                       |                                   |
| Longueur et largeur   | 6500 mm                           |
| Hauteur   | 7300 mm                           |
| <b>Système asservi</b>                                      |                                   |
| Puissance du brûleur installé                               | 2000 kW                           |
| Chaleur spécifique du combustible additionnel (gaz naturel) | 8.600 PCI (kcal/Nm <sup>3</sup> ) |
| Pression d'alimentation                                     | 9 bar                             |
| Pression de sortie  | 80 mbar                           |
| Volume max. de gaz  | 150 Nm <sup>3</sup> /h            |
| Temps de purge min.   | 5 min                             |
| <b>Valeurs des gaz épurés</b>                               |                                   |
| Concentration totale en carbone C                           | < 20 mg/Nm <sup>3</sup>           |
| Concentration totale en monoxyde de carbone CO              | < 50 mg/Nm <sup>3</sup>           |
| Concentration totale en NOx                                 | < 50 mg/Nm <sup>3</sup>           |

**Annexe 9 : Extrait du rapport de mesures des émissions atmosphériques de Veritas**

**SYNTHESE DES RESULTATS**

Si des valeurs limites vous sont applicables et ont été portées à notre connaissance, celles-ci sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau de synthèse de résultats des essais :**

Remarque : Si applicable, le tableau récapitulatif des résultats d'essais conformément à l'Annexe IV de l'Arrêté du 11 Mars 2010 est présenté en Annexe.

| Paramètres   | Essai | Mesure |                     |     |                                   | Flux   |                     |      |       | COFRAC |
|--|-------|--------|---------------------|-----|-----------------------------------|--------|---------------------|------|-------|--------|
|  |       | Valeur | Incertitude absolue | VLE | Unité                             | Valeur | Incertitude absolue | VLE  | Unité |        |
| <b>INSTALLATION : OXYDATEUR - Conduit : Rejet</b>                    |       |        |                     |     |                                   |        |                     |      |       |        |
| Date(s) de mesure : Entre le 08/10/2013 14:40 et le 08/10/2013 16:10 |       |        |                     |     |                                   |        |                     |      |       |        |
| Synthèse des résultats de mesure - validité et COFRAC                |       |        |                     |     |                                   |        |                     |      |       |        |
| Vitesse  | Essai | 6,99   | 0,179               | -   | m/s                               | -      | -                   | -    | -     | OUI    |
| Vitesse à l'éjection   | Essai | 6,99   | -                   | -   | m/s                               | -      | -                   | -    | -     | -      |
| Température  | Essai | 143    | 1,44                | -   | °C                                | -      | -                   | -    | -     | -      |
| Débit humide   | Essai | 63100  | 3660                | -   | Nm3/h                             | -      | -                   | -    | -     | OUI    |
| Débit sec  | Essai | 62000  | -                   | -   | Nm3/h                             | -      | -                   | -    | -     | -      |
| Teneur en vapeur d'eau   | Essai | 1,76   | -                   | -   | %                                 | -      | -                   | -    | -     | NON    |
| O2   | Essai | 20,1   | 1,03                | -   | % sur gaz sec                     | -      | -                   | -    | -     | OUI    |
| CO2  | Essai | 0,459  | 0,518               | -   | % sur gaz sec                     | -      | -                   | -    | -     | NON    |
| CO   | Essai | 10,3   | 5,20                | 100 | mg/Nm3 exprimé en CO sur gaz sec  | 0,639  | 0,324               | 14,5 | kg/h  | OUI    |
| NOx  | Essai | 16,6   | 8,52                | 100 | mg/Nm3 exprimé en NO2 sur gaz sec | 1,03   | 0,532               | 14,5 | kg/h  | OUI    |

| Paramètres | Essai | Mesure |                     |     |                                   | Flux   |                     |      |       | COFRAC |
|------------|-------|--------|---------------------|-----|-----------------------------------|--------|---------------------|------|-------|--------|
|            |       | Valeur | Incertitude absolue | VLE | Unité                             | Valeur | Incertitude absolue | VLE  | Unité |        |
| COVT       | Essai | 1,04   | 2,25                | -   | mg/Nm3 exprimé en C sur gaz sec   | 0,0647 | 0,140               | -    | kg/h  | OUI    |
| COVNM      | Essai | 0,328  | -                   | 20  | mg/Nm3 exprimé en C sur gaz sec   | 0,0203 | -                   | 2,9  | kg/h  | OUI    |
| CH4        | Essai | 0,890  | 3,01                | 50  | mg/Nm3 exprimé en CH4 sur gaz sec | 0,0552 | -                   | 7,25 | kg/h  | OUI    |

*Pour les mesures de gaz en continu, les résultats présentés correspondent à la moyenne des 3 essais de 30 minutes. L'évolution des concentrations mesurées est présentée sous la forme d'un graphique temporel annexé au rapport.*

#### **Rappel sur les incertitudes :**

**L'incertitude sur le résultat de la moyenne des essais et sur les sommes n'est pas calculée.**

**Note :** Dans le cas où les conditions environnementales ou de fonctionnement n'ont pas permis de réaliser les prélèvements selon les règles de l'art, les incertitudes ne sont pas affichées.

**Note :** Afin de faciliter la lecture, les incertitudes absolues Y sur une valeur X pourront être notées  $X \pm Y$ . Cela indique qu'en réalité, la valeur de X est comprise entre X-Y et X+Y.

**Note :** L'affichage des valeurs est arrondi à 3 chiffres significatifs et arrondi arithmétique selon le 4ème chiffre non conservé.



INFORMATION DE TARIFICATION  
Location



# BM 25

| BALISE BM25   | BM 25 SEUL  | CELLULE P1 | CELLULE P2 | CELLULE P3 | CELLULE P4 | CELLULE P5 | OPTION AVEC POMPE | OPTION DE DUREE | PRIX PAR SEMAINE | PRIX PAR MOIS |
|---|---|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|-----------------|------------------|---------------|
| <b>BASE</b>   |   |            |            |            |            |            |                   |                 |                  |               |
| Balise BM25 (Incluant le pack batterie et le chargeur) <b>ATEX</b>  | 6514842-  |            |            |            |            |            |                   |                 | € 240,00         | € 720,00      |
| <b>Sans cellule</b>   |   |            |            |            |            |            |                   |                 |                  |               |
| Sans cellule  |   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |                   |                 | € 0,00           | € 0,00        |
| <b>Cellule 1-5</b>  |   |            |            |            |            |            |                   |                 |                  |               |
| CO (Carbon Monoxide) Sensor   |   |            | 1          | 1          |            |            |                   |                 | € 20,00          | € 60,00       |
| H2S (Hydrogen Sulfide) Sensor   |   |            | 2          | 2          |            |            |                   |                 | € 20,00          | € 60,00       |
| O2 (Oxygen) Sensor  |   |            | 3          | 3          | 3          | 3          |                   |                 | € 20,00          | € 60,00       |
| NO2 (Nitrogen Dioxide) Sensor   |   |            | 4          | 4          | 4          | 4          |                   |                 | € 40,00          | € 120,00      |
| SO2 (Sulfur Dioxide) Sensor   |   |            |            |            | 5          | 5          |                   |                 | € 20,00          | € 60,00       |
| NH3 (Ammonia) Sensor  |   |            | 6          | 6          |            |            |                   |                 | € 40,00          | € 120,00      |
| Cl2 (Chlorine) Sensor   |   |            | 7          | 7          | 7          | 7          |                   |                 | € 40,00          | € 120,00      |
| ClO2 (Chlorine Dioxide) Sensor  |   |            |            |            | 8          | 8          |                   |                 | € 40,00          | € 120,00      |
| PH3 (Phosphine) Sensor  |   |            | 9          | 9          |            |            |                   |                 | € 40,00          | € 120,00      |
| HCl (Hydrogen Chloride) Sensor  |   |            | A          | A          |            |            |                   |                 | € 40,00          | € 120,00      |
| HCN (Hydrogen Cyanide) Sensor   |   |            | B          | B          |            |            |                   |                 | € 40,00          | € 120,00      |
| H2 (ppm Hydrogen) Sensor  |   |            | C          | C          |            |            |                   |                 | € 20,00          | € 60,00       |
| NO (Nitric Oxide) Sensor  |   |            | D          | D          |            |            |                   |                 | € 40,00          | € 120,00      |
| EIO (Ethylene Oxide) Sensor   |   |            |            |            | F          | F          |                   |                 | € 40,00          | € 120,00      |
| CO (Carbon Monoxide) Sensor (High Range)  |   |            | H          | H          |            |            |                   |                 | € 20,00          | € 60,00       |
| CO/ H2S Combo Sensor  |   |            |            |            | J          |            |                   |                 | € 40,00          | € 120,00      |
| LEL (Pentane) Sensor  |   | K          |            |            |            |            |                   |                 | € 20,00          | € 60,00       |
| LEL (Methane) Sensor  |   | L          |            |            |            |            |                   |                 | € 20,00          | € 60,00       |
| CH4 (0-5%) Sensor   |   | M          |            |            |            |            |                   |                 | € 20,00          | € 60,00       |
| CO2 (Carbon Dioxide) IR   |   |            |            |            | Q          | Q          |                   |                 | € 60,00          | € 180,00      |
| PID (Photo-ionization Detector) VOCs  |   |            |            |            | R          | R          |                   |                 | € 60,00          | € 180,00      |
| SiH4 (Silane)   |   |            | S          | S          |            |            |                   |                 | € 40,00          | € 120,00      |
| AsH3 (Arsine)   |   |            | T          | T          |            |            |                   |                 | € 40,00          | € 120,00      |
| <b>NOTE: LES BALISES BM25 SONT DISPONIBLE EN 4 GAZ STANDART (O2, EXFLO, H2S, CO), IL FAUT NOUS CONSULTER AU PREALABLE POUR LA DISPONIBILITE DES AUTRES GAZ.</b> |   |            |            |            |            |            |                   |                 |                  |               |
| <b>OPTION POMPE</b>   |   |            |            |            |            |            |                   |                 |                  |               |
| Version diffusion (sans pompe)  |   |            |            |            |            |            | 0                 |                 | € 0,00           | € 0,00        |
| Version aspiration (Pompe incluse)  |   |            |            |            |            |            | 1                 |                 | € 20,00          | € 60,00       |
| <b>OPTION DE DUREE</b>  |   |            |            |            |            |            |                   |                 |                  |               |
| Location d'une semaine  |   |            |            |            |            |            |                   | - FM            |                  |               |
| Location d'un mois  |   |            |            |            |            |            |                   | - FM            |                  |               |
| <b>COMMON BM25 ACCESSORIES</b>  |   |            |            |            |            |            |                   |                 |                  |               |
| 6311089-FW  | Alimentation biberonnage de sécurité S longueur de cable 50 m (Location à la semaine) |            |            |            |            |            |                   |                 | € 60,00          |               |
| 6311089-FM  | Alimentation biberonnage de sécurité S longueur de cable 50 m (Location au mois)      |            |            |            |            |            |                   |                 |                  | € 180,00      |
| 6315863-FW  | BM25 Kit de transfert d'alarme longueur du cable 50 m (Location à la semaine)         |            |            |            |            |            |                   |                 | € 20,00          |               |
| 6315863-FM  | BM25 Kit de transfert d'alarme longueur du cable 50 m (Location au mois)              |            |            |            |            |            |                   |                 |                  | € 60,00       |
| 6321388-FW  | Support pour BM25 (Location à la semaine)   |            |            |            |            |            |                   |                 | € 20,00          |               |
| 6321388-FM  | Support pour BM25 (Location au mois)  |            |            |            |            |            |                   |                 |                  | € 60,00       |
| WLOGUSB-FW  | BM25 Kit transfert de données (cordon + logiciel) (Location à la semaine)             |            |            |            |            |            |                   |                 | € 20,00          |               |
| WLOGUSB-FM  | BM25 Kit transfert de données (cordon + logiciel) (Location au mois)                  |            |            |            |            |            |                   |                 |                  | € 60,00       |

**Annexe 11 : Relevé de gaz de 1999**

**NORTON du 13/01/99 au 22/01/99**

| L.A.T        | Temp. °C | Oxygène % | CO2 ppm | CO ppm | HCT ppm | Débit brut m3/h | Débit corrigé m3(n)/h | HCT éq. CT mg/m3(n) | HCT éq. CH4 mg/m3(n) | Phénol mg/m3(n) | formal-dhéydes mg/m3(n) | HCT éq. CT kg/h | HCT éq. CH4 kg/h | Phénol kg/h | formal-dhéydes kg/h |
|--------------|----------|-----------|---------|--------|---------|-----------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|------------------|-------------|---------------------|
| four IR 1    | 49,8     | 19,0      | 660     | 3      | 137     | 4794            | 4054                  | 185                 | 203                  | 90              | 35                      | 0,75            | 0,82             | 0,36        | 0,14                |
| AMDES 1      | 148,8    | 19,5      | 5200    | 35     | 165     | 6714            | 4346                  | 172                 | 188                  |                 | 113                     | 0,75            | 0,82             | 0,00        | 0,49                |
| AMDES 2      | 150,9    | 19,8      | 5000    | 68     | 376     | 4799            | 3091                  | 390                 | 427                  |                 | 113                     | 1,20            | 1,32             | 0,00        | 0,35                |
| four IR 2    | 29,1     | 21,0      | 680     | 0      | 13      | 5097            | 4606                  | 20                  | 21                   |                 |                         | 0,09            | 0,10             | 0,00        | 0,00                |
| Hottes AMDES | 42,9     | 20,0      | 1180    | 3      | 56      | 7938            | 6861                  | 78                  | 85                   | 24              | 28                      | 0,53            | 0,58             | 0,16        | 0,19                |
| Tamb. Vap 1  | 30,8     | 20,9      | 500     | 0      | 41      | 25586           | 22995                 | 59                  | 65                   | 12              | 38                      | 1,36            | 1,48             | 0,28        | 0,87                |
| Tamb. Vap 2  | 27,6     | 20,9      | 550     | 0      | 19      | 29311           | 26617                 | 27                  | 30                   | 7               | 67                      | 0,72            | 0,79             | 0,19        | 1,78                |
|              |          |           |         |        |         | 84239           | 72570                 |                     |                      |                 |                         | 5,40            | 5,91             | 0,99        | 3,83                |

| Débit corrigé m3(n)/h | HCT éq. CH4 mg/m3(n) | Phénol mg/m3(n) | formal-dhéydes mg/m3(n) | HCT éq. CH4 kg/h | Phénol kg/h | formal-dhéydes kg/h |
|-----------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|------------------|-------------|---------------------|
| ---                   |                      |                 |                         |                  |             |                     |
| 5600                  | 214                  |                 | 7,7                     | 1,20             |             | 0,04                |
| 2900                  | 715                  |                 |                         | 2,07             |             | 0,00                |
| 2400                  | 114                  |                 |                         | 0,27             |             | 0,00                |
| 8000                  | 136                  | 225             |                         | 1,09             | 1,80        | 0,00                |
| 18500                 | 50                   | 77              | 25,1                    | 0,93             | 1,42        | 0,46                |
| ---                   |                      |                 |                         |                  |             |                     |
| 37400                 |                      |                 |                         | 5,56             | 3,22        | 0,51                |

| Mesures GDF |          |           |         |        |         |                 |                       |                     |                      |                 |                         |                 |                  |             |                     |
|-------------|----------|-----------|---------|--------|---------|-----------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|------------------|-------------|---------------------|
| 52"         | Temp. °C | Oxygène % | CO2 ppm | CO ppm | HCT ppm | Débit brut m3/h | Débit corrigé m3(n)/h | HCT éq. CT mg/m3(n) | HCT éq. CH4 mg/m3(n) | Phénol mg/m3(n) | formal-dhéydes mg/m3(n) | HCT éq. CT kg/h | HCT éq. CH4 kg/h | Phénol kg/h | formal-dhéydes kg/h |
| Rack        | 72,9     | 20,5      | 430     | 0      | 197     | 5853            | 4619                  | 248                 | 274                  |                 |                         | 1,15            | 1,27             | 0,28        | 0,26                |
| Zone 1      | 52,1     | 20,8      | 400     | 0      | 10      | 9074            | 7620                  | 13                  | 15                   |                 |                         | 0,10            | 0,11             | 0,00        | 0,00                |
| Zone 2      | 68,8     | 20,6      | 420     | 0      | 14      | 9275            | 7408                  | 18                  | 20                   |                 | 70                      | 0,14            | 0,15             | 0,00        | 0,52                |
| Zone 3      | 92,5     | 20,8      | 410     | 0      | 29      | 11178           | 8350                  | 35                  | 39                   |                 |                         | 0,29            | 0,32             | 0,00        | 0,00                |
| Zone 4      | 26,8     | 20,9      | 400     | 0      | 0       | ---             | ---                   | 0                   | 0                    |                 |                         |                 |                  |             |                     |
|             |          |           |         |        |         | 35380           | 27997                 |                     |                      |                 |                         | 1,68            | 1,85             | 0,28        | 0,78                |

| Mesures NORTON        |                      |                 |                         |                  |             |                     |
|-----------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|------------------|-------------|---------------------|
| Débit corrigé m3(n)/h | HCT éq. CH4 mg/m3(n) | Phénol mg/m3(n) | formal-dhéydes mg/m3(n) | HCT éq. CH4 kg/h | Phénol kg/h | formal-dhéydes kg/h |
| 4200                  | 169                  | 240             |                         | 0,71             | 1,01        |                     |
| 11400                 | 51                   | 185             |                         | 0,58             | 2,11        |                     |
| 3700                  | 66                   | 110             |                         | 0,24             | 0,41        |                     |
| 3300                  | 37                   | 62              |                         | 0,12             | 0,20        |                     |
| 9100                  |                      |                 |                         |                  |             |                     |
| 31700                 |                      |                 |                         | 1,66             | 3,73        |                     |

| Mesures GDF |          |           |         |        |         |                 |                       |                     |                      |                 |                         |                 |                  |             |                     |
|-------------|----------|-----------|---------|--------|---------|-----------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|------------------|-------------|---------------------|
| 62"         | Temp. °C | Oxygène % | CO2 ppm | CO ppm | HCT ppm | Débit brut m3/h | Débit corrigé m3(n)/h | HCT éq. CT mg/m3(n) | HCT éq. CH4 mg/m3(n) | Phénol mg/m3(n) | formal-dhéydes mg/m3(n) | HCT éq. CT kg/h | HCT éq. CH4 kg/h | Phénol kg/h | formal-dhéydes kg/h |
| Rack Zone 1 | 67,4     | 21,0      | 380     | 0      | 301     | 7388            | 5926                  | 382                 | 426                  | 110             | 73                      | 2,26            | 2,52             | 0,65        | 0,43                |
| Rack Zone 2 | 96,0     | 20,9      | 390     | 0      | 380     | 6235            | 4613                  | 451                 | 495                  | 176             | 168                     | 2,08            | 2,28             | 0,81        | 0,77                |
| Rack Zone 3 | 97,4     | 20,7      | 400     | 0      | 370     | 7108            | 5238                  | 438                 | 480                  | 156             | 79                      | 2,29            | 2,51             | 0,82        | 0,41                |
| Zone 1      | 56,4     | 20,9      | 390     | 0      | 215     | 7754            | 6426                  | 287                 | 314                  | 80              | 96                      | 1,85            | 2,02             | 0,51        | 0,62                |
| Zone 2      | 70,5     | 20,9      | 420     | 0      | 445     | 14402           | 11445                 | 570                 | 622                  | 144             | 154                     | 6,52            | 7,12             | 1,65        | 1,76                |
| Zone 3      | 102,5    | 20,9      | 410     | 0      | 374     | 17425           | 12669                 | 436                 | 478                  | 96              | 71                      | 5,52            | 6,06             | 1,22        | 0,90                |
| Zone 4      | 15,7     | 20,9      | 370     | 0      | 25      | ---             | ---                   | 35                  | 41                   |                 |                         |                 |                  |             |                     |
|             |          |           |         |        |         | 60312           | 46317                 |                     |                      |                 |                         | 20,52           | 22,51            | 5,66        | 4,90                |

| Mesures NORTON        |                      |                 |                         |                  |             |                     |
|-----------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|------------------|-------------|---------------------|
| Débit corrigé m3(n)/h | HCT éq. CH4 mg/m3(n) | Phénol mg/m3(n) | formal-dhéydes mg/m3(n) | HCT éq. CH4 kg/h | Phénol kg/h | formal-dhéydes kg/h |
| 1400                  | 0                    | 1120            |                         | 0,00             | 1,57        |                     |
| 2100                  | 0                    | 900             |                         | 0,00             | 1,89        |                     |
| 2400                  | 0                    | 330             |                         | 0,00             | 0,79        |                     |
| 11000                 | 0                    | 320             |                         | 0,00             | 3,52        |                     |
| 19000                 | 0                    | 680             |                         | 0,00             | 12,92       |                     |
| 17000                 | 0                    | 620             |                         | 0,00             | 10,54       |                     |
| 19500                 | 0                    |                 |                         |                  |             |                     |
| 72400                 |                      |                 |                         | 0,00             | 31,23       |                     |

| Mesures GDF |          |           |         |        |         |                 |                       |                     |                      |                 |                         |                 |                  |             |                     |
|-------------|----------|-----------|---------|--------|---------|-----------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|------------------|-------------|---------------------|
| CURING      | Temp. °C | Oxygène % | CO2 ppm | CO ppm | HCT ppm | Débit brut m3/h | Débit corrigé m3(n)/h | HCT éq. CT mg/m3(n) | HCT éq. CH4 mg/m3(n) | Phénol mg/m3(n) | formal-dhéydes mg/m3(n) | HCT éq. CT kg/h | HCT éq. CH4 kg/h | Phénol kg/h | formal-dhéydes kg/h |
| 1-2         | 83,2     | 20,9      | 400     | 0      | 7       | 4200            | 3219                  | 8                   | 9                    | 0,02            |                         | 0,03            | 0,03             | 0,0001      |                     |
| 3-4         | 86,8     | 21,0      | 380     | 0      | 14      | 4286            | 3163                  | 17                  | 18                   |                 |                         | 0,05            | 0,06             | 0,0000      |                     |
|             |          |           |         |        |         | 8486            | 6382                  |                     |                      |                 |                         | 0,08            | 0,09             | 0,0001      | 0,00                |

| Mesures NORTON        |                      |                 |                         |                  |             |                     |
|-----------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|------------------|-------------|---------------------|
| Débit corrigé m3(n)/h | HCT éq. CH4 mg/m3(n) | Phénol mg/m3(n) | formal-dhéydes mg/m3(n) | HCT éq. CH4 kg/h | Phénol kg/h | formal-dhéydes kg/h |
| 1310                  | 1,3                  | 0,09            |                         | 0,00             | 0,000       |                     |
| 1310                  |                      |                 |                         | 0,00             | 0,000       |                     |

Débit total des 4 lignes m3(n)/h

188417 153267

27,7 30,4 6,9 9,5

142810

7,2 38,2 0,5

VZ

# V1000

### More performance & Quality in less space

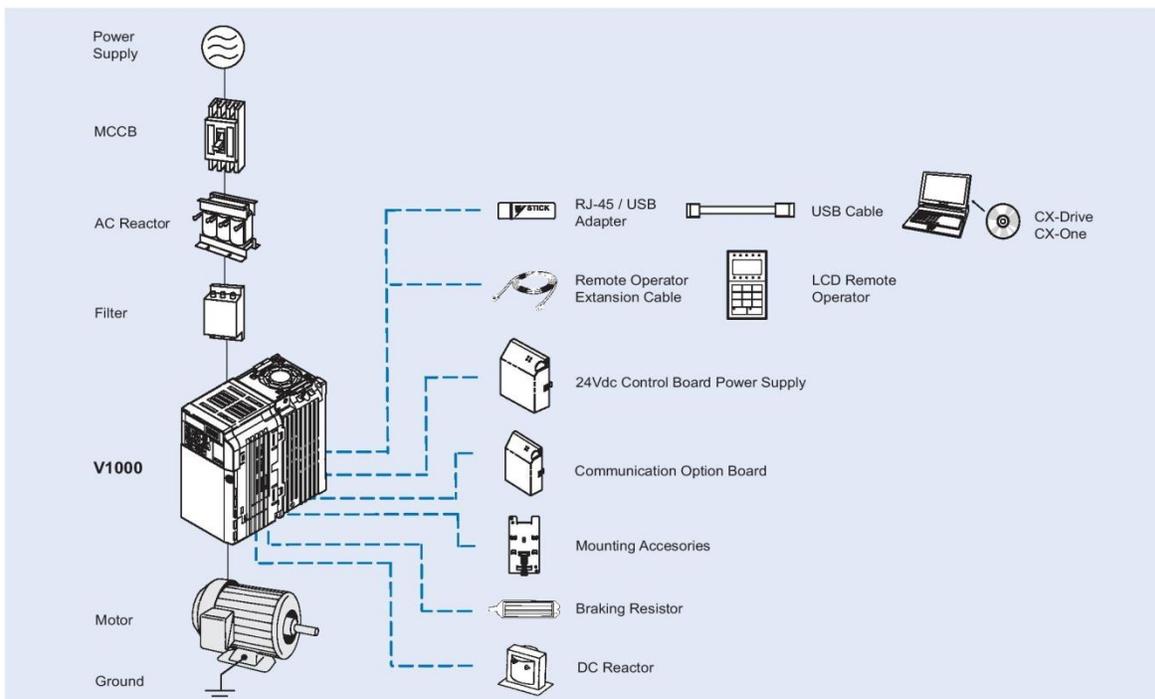
- Current vector control
- High starting torque (200% / 0.5 Hz)
- 1:100 speed control range
- Double rating ND 120%/1min and HD 150%/1 min
- IM&PM motor control
- Online Tuning
- Low-noise Low carrier technology
- 10 years lifetime design
- Built-in filter
- Screw-less terminals
- Control Terminals with memory backup
- 24 VDC control board power supply option
- Fieldbus communications: Modbus, Profibus, CanOpen, DeviceNet, Lonworks, CompoNet, Ethernet
- Safety embedded (EN954-1 safety cat. 3)
- CE, UL, cUL and TUV

### Ratings

- 200 V Class single-phase 0.1 to 4 kW
- 200 V Class three-phase 0.1 to 15 kW
- 400 V Class three-phase 0.2 to 15 kW

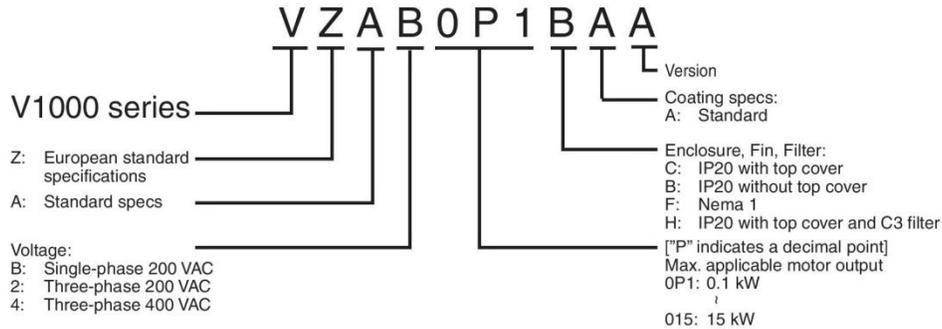


### System configuration



## Specifications

### Type designation



### 200 V class

| Single-phase: VZ-□        |                                   | B0P1  | B0P2 | B0P4 | B0P7 | B1P5 | B2P2 | B4P0 | -    | -    | -    | -    |
|---------------------------|-----------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Three-phase: VZ-□         |                                   | 20P1  | 20P2 | 20P4 | 20P7 | 21P5 | 22P2 | 24P0 | 25P5 | 27P5 | 2011 | 2015 |
| Motor<br>kW <sup>1</sup>  | For HD setting                    | 0.12  | 0.25 | 0.4  | 0.75 | 1.5  | 2.2  | 4.0  | 5.5  | 7.5  | 11   | 15   |
|                           | For ND setting                    | 0.18  | 0.37 | 0.75 | 1.1  | 2.2  | 3.0  | 5.5  | 7.5  | 11   | 15   | 18.5 |
| Output<br>characteristics | Inverter capacity kVA             | 0.3   | 0.6  | 1.1  | 1.9  | 3.0  | 4.2  | 6.7  | 9.5  | 13   | 18   | 23   |
|                           | Rated output current (A) at HD    | 0.8   | 1.6  | 3.0  | 5.0  | 8.0  | 11.0 | 17.5 | 25.0 | 33.0 | 47.0 | 60.0 |
|                           | Rated output current (A) at ND    | 1.2   | 1.9  | 3.5  | 6.0  | 9.6  | 12.0 | 21.0 | 30.0 | 40.0 | 56.0 | 69.0 |
|                           | Max. output voltage               | Proportional to input voltage: 0..240 V                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Max. output frequency     |                                   | 400 Hz  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Power<br>supply           | Rated input voltage and frequency | Single-phase 200..240 V 50/60 Hz<br>3-phase 200..240 V 50/60 Hz |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                           | Allowable voltage fluctuation     | -15%..+10%  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                           | Allowable frequency fluctuation   | +5%   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                           |                                   |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

1. Based on a standard 4-pole motor for maximum applicable motor output:  
Heavy Duty (HD) mode with a 150% overload capacity  
Normal Duty (ND) mode with a 120% overload capacity

### 400 V class

| Three-phase: VZ-□         |                                   | 40P2                                    | 40P4 | 40P7 | 41P5 | 42P2 | 43P0 | 44P0 | 45P5 | 47P5 | 4011 | 4015 |
|---------------------------|-----------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Motor<br>kW <sup>1</sup>  | For HD setting                    | 0.2                                     | 0.4  | 0.75 | 1.5  | 2.2  | 3.0  | 4.0  | 5.5  | 7.5  | 11   | 15   |
|                           | For ND setting                    | 0.37                                    | 0.75 | 1.5  | 2.2  | 3.0  | 3.7  | 5.5  | 7.5  | 11   | 15   | 18.5 |
| Output<br>characteristics | Inverter capacity kVA             | 0.9                                     | 1.4  | 2.6  | 3.7  | 4.2  | 5.5  | 7.2  | 9.2  | 14.8 | 18   | 24   |
|                           | Rated output current (A) at HD    | 1.2                                     | 1.8  | 3.4  | 4.8  | 5.5  | 7.2  | 9.2  | 14.8 | 18.0 | 24   | 31   |
|                           | Rated output current (A) at ND    | 1.2                                     | 2.1  | 4.1  | 5.4  | 6.9  | 8.8  | 11.1 | 17.5 | 23   | 31   | 38   |
|                           | Max. output voltage               | 0..480V (proportional to input voltage) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Max. output frequency     |                                   | 400 Hz                                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Power<br>supply           | Rated input voltage and frequency | 3-phase 380..480 VAC, 50/60 Hz          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                           | Allowable voltage fluctuation     | -15%..+10%                              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                           | Allowable frequency fluctuation   | +5%                                     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                           |                                   |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

1. Based on a standard 4-pole motor for maximum applicable motor output:  
Heavy Duty (HD) mode with a 150% overload capacity  
Normal Duty (ND) mode with a 120% overload capacity

## Specifications

### Common specifications

| Model number<br>VZ-□           | Specifications  |   |
|--------------------------------|---|---|
| <b>Control functions</b>       | <b>Control methods</b>  | Sine wave PWM (V/f control, sensorless current vector control)  |
|                                | <b>Output frequency range</b>   | 0.1..400 Hz   |
|                                | <b>Frequency tolerance</b>  | Digital set value: $\pm 0.01\%$ (-10..+50 °C)   |
|                                |   | Analogue set value: $\pm 0.1\%$ (25 $\pm 10$ °C)  |
|                                | <b>Resolution of frequency set value</b>  | Digital set value: 0.01 Hz (<100 Hz), 0.1 Hz (>100 Hz)  |
|                                |   | Analogue set value: 1/1000 of maximum frequency   |
|                                | <b>Resolution of output frequency</b>   | 0.01 Hz   |
|                                | <b>Overload capability</b>  | Heavy duty use: 150% rated output current for one minute<br>Normal duty use: 120% rated output current for one minute   |
| <b>Frequency set value</b>     | 0..10 V (20 k $\Omega$ ), 4..20 mA (250 $\Omega$ ), 0..20 mA (250 $\Omega$ )<br>Pulse train input, frequency setting value (selectable) |   |
| <b>Functionality</b>           | <b>Braking torque (short term peak torque)</b>  | Short-term average deceleration torque: 150% (up 1.5 kW), 100% (for 1.5 kW), 50% (for 2.2 kW), 20% (for bigger size)<br>Continuous regenerative torque: Approx 20% (125% with optional braking resistor, 10%ED, 10 s, braking transistor built in)  |
|                                | <b>V/f Characteristics</b>  | Possible to program any V/f pattern   |
|                                | <b>Inputs signals</b>   | Seven of the following input signals are selectable: Forward/reverse run (3-wire sequence), fault reset, external fault (NO/NC contact input), multi-step speed operation, Jog command, accel/decel time select, external baseblock, speed search command, UP/DOWN command, accel/decel hold command, LOCAL/REMOTE selection, communication/control circuit terminal selection, emergency stop fault, emergency stop alarm, self test   |
|                                | <b>Output signals</b>   | Following output signals are selectable (NO/NC contact output, 2 photo-coupler outputs): Fault, running, zero speed, speed agree, frequency detection (output frequency $\leq$ or $\geq$ set value), during overtorque detection, minor error, during baseblock, operation mode, inverter run ready, during fault retry, during undervoltage detection, reverse running, during speed search, data output through communication.  |
|                                | <b>Standard functions</b>   | Open-loop vector control, full-range automatic torque boost, slip compensation, 17-step speed operation (max.), restart after momentary power loss, DC injection braking current at stop/start (50% of inverter rated current, 0.5 sec, or less), frequency reference bias/gain, MEMOBUS communications (RS-485/422, max. 115K bps), fault retry, speed search, frequency upper/lower limit setting, overtorque detection, frequency jump, accel/decel time switch, accel/decel prohibited, S-curve accel/decel, PID control, energy-saving control, constant copy. |
|                                | <b>Analogue inputs</b>  | 2 analogue inputs, 0..10 V, 4..20 mA, 0..20 mA  |
|                                | <b>Braking/acceleration times</b>   | 0.01..6000 s  |
|                                | <b>Display</b>  | Optionally frequency, current or set value<br>Error and status LED  |
| <b>Protection functions</b>    | <b>Motor overload protection</b>  | Electronic thermal overload relay   |
|                                | <b>Instantaneous overcurrent</b>  | Motor coasts to a stop at approx. 250% of inverter rated current  |
|                                | <b>Overload</b>   | Heavy Duty: Motor coasts to a stop after 1 minute at 150% of inverter rated output current<br>Normal Duty: Motor coasts to a stop after 1 minute at 120% of inverter rated output current   |
|                                | <b>Overvoltage</b>  | Motor coasts to a stop if DC bus voltage exceed 410 V (double for 400 V class)  |
|                                | <b>Undervoltage</b>   | Stops when DC bus voltage is approx. 190 V or less (double for 400 V class)<br>(approx. 150 V or less for single-phase series)  |
|                                | <b>Momentary power loss</b>   | Following items are selectable: not provided (stop if power loss is 15 ms or longer), continuous operation if power loss is approx. 0.5 s or shorter, continuous operation  |
|                                | <b>Cooling fin overheat</b>   | Protected by thermister   |
|                                | <b>Stall prevention level</b>   | Stall prevention during acceleration/deceleration and constant speed operation  |
|                                | <b>Ground fault</b>   | Protected by electronic circuit (operation level is approx. 250% of rated output current)   |
| <b>Power charge indication</b> | Indicates until the main circuit voltage reaches 50 V.  |   |
| <b>Ambient conditions</b>      | <b>Degree of protection</b>   | IP20, NEMA1   |
|                                | <b>Cooling</b>  | Cooling fan is provided for 200 V, 0.75 kW (1HP) (3/single-phase)<br>400 V, 1.5 kW (2HP) (3-phase), others are self-cooling   |
|                                | <b>Ambient humidity</b>   | 95% RH or less (without condensation)   |
|                                | <b>Storage temperature</b>  | -20 °C..+60 °C (short-term temperature during transportation)   |
|                                | <b>Installation</b>   | Indoor (no corrosive gas, dust, etc.)   |
|                                | <b>Installation height</b>  | Max. 1000 m   |
|                                | <b>Vibration</b>  | Up to 1 G at 10 to less than 20 Hz, Up to 0.65 G at 20 to 50 Hz   |

# EISENMANN

SERVICE

Alain Bouyrie  
Gerard Demory  
Responsable Maintenance  
Saint-Gobain Abrasifs

Rue de l'Ambassadeur

**F-78700 Conflans Sainte Honorine**

SV-EL / Udo Lingstädt  
Telefon 07031/78-2667  
Telefax 07031/78-22 2667  
Email: udo.lingstaedt@eisenmann.com  
07.08.2012

**Quotation KS 81018-1  
PLC-Change S5 → S7  
Plant 83-168 RTO**

Dear Mr. Bouyrie,  
Dear Mr. Demory,

Hereby you get our 2012 updated quotation in French language for PLC-modernization in your plant added with the option of a weekly timer.

We hope, this is an economic and technical interesting offer for you and we would be pleased to realize this project for you.

Please note, for the additional connection of 6 small curing ovens to the RTO, you will get a separately quotation from my colleague Reiner Spalt soon, but for implementing this, it is absolutely essential to change at first the PLC from S5 to S7. For this change, an ideal time period would be from 27<sup>th</sup> Dec.2012 until 4<sup>th</sup> Jan.2013, which is respected in our quotation.

Do you have questions still? Please call us, we would like to help you.

Best regards

EISENMANN



i.V. Udo Lingstädt

**EISENMANN Service GmbH & Co. KG**

Tübinger Straße 81 · 71032 Böblingen · Postfach 12 80 · 71002 Böblingen · Germany · Tel. +49 7031 78-0 · Fax +49 7031 78-3200  
www.eisenmann.com · info@eisenmann.com · Sitz: Böblingen · AG Stuttgart HRA 241946 · USt.-IdNr.: DE 145 141 541  
Persönlich haftende Gesellschafterin: EISENMANN Service Verwaltung GmbH · Sitz: Böblingen, AG Stuttgart HRB 245855  
Geschäftsführer: Dr. Matthias von Krauland, Dr. Thomas Beck, Dr. Kersten Christoph Link, Dr. Johann Halbartschlager, Holger Ernst

# General Terms and Conditions for Sale, Payment and Delivery 10/03

EISENMANN Service GmbH & Co. KG

## A. General provisions

1. We only deliver and perform in accordance with our following General Terms and Conditions for Sale, Payment and Delivery even when no subsequent express reference is made during ongoing business relations. Alterations to these terms and conditions, particularly diverging terms and conditions of business of the customer, are objected to herewith. Silence on our part regarding diverging terms and conditions of business shall not be deemed as consent, namely not even when we deliver without reservation. By accepting our delivery, the customer irrefutably consents to the exclusive applicability of our General Terms and Conditions for Sale, Payment and Delivery.

2. All offers submitted by us are subject to confirmation and are not binding. Orders are only considered accepted upon our written confirmation.

3. All agreements entered into for the execution of this contract shall be set down in writing.

## B. Prices and payment

1. Our prices are ex works including loading at the works but excluding packaging. Turnover tax will be added to the agreed prices at the respective statutory rate.

2. Our invoices shall be paid immediately upon receipt without deduction.

3. If invoicing is agreed on a time basis, then invoicing is carried out monthly. The hours are substantiated by time sheets. If a lump sum price is agreed upon, all work ensuing on specific request of the customer and which is not within the scope of the contract, shall be invoiced on a time basis. If no other agreement is made, our respectively appropriate hourly rates apply for the invoicing on a time basis.

4. In the case of service work outside the Federal Republic of Germany, foreign taxes, customs duties or other public charges to be paid by us or our personnel shall be borne by the customer.

5. Should circumstances become known to us which question the credit standing of the customer, all of our claims become due for payment immediately. In particular, we are entitled, notwithstanding the maturity of received bills of exchange, to demand cash payment against return of the bills of exchange. Our rights accruing from § 321 BGB (German Civil Code) remain unaffected.

6. The customer is not entitled to assert a right of retention or offset against our claims unless the counterclaims are undisputed or recognized by final judgment.

## C. Cooperation of the customer

1. The customer shall assist our personnel during execution of service work at his own expense.

2. The customer shall take necessary measures to protect persons and things on the job.

3. The customer shall inform our site supervisor about all existing safety regulations in as far as these are of significance to our personnel. The customer is responsible for the checking of adherence to the safety regulations.

## D. Delivery time

1. Adherence to the times for deliveries or performances (delivery times, i.e. delivery dates and delivery periods) requires fulfilment of the contractual duties and obligations of the customer. Delivery periods thus first commence upon the customer's receipt of our order confirmation, however, not prior to the submission of documents, specifications, approvals, etc. to be procured by the customer, and likewise not prior to receipt of an agreed down payment, guarantee, etc.; delivery dates are deferred accordingly in these cases.

Alterations or additions to the original scope of delivery or performance agreed upon after conclusion of the contract extend or postpone the original delivery periods or delivery dates appropriately.

The delivery time is observed if by the time of its expiry the delivery item has left the works, or readiness for dispatch is notified, or when service work is ready for acceptance, and in the case of planned testing, when the work is ready for this to be undertaken. Partial deliveries are permitted.

2. If the customer incurs damage due to a delay for which we are liable, the customer is entitled to compensation. The amount of such compensation is limited to 0.75 % for every week commenced of the default, at the most 7.5 % of the contract value. This provision does not affect our liability according to paragraph H of these General Terms and Conditions for Sale, Payment and Delivery.

## E. Passing of risk and taking delivery

1. The risk passes to the customer at the latest with commencement of loading of the delivery items even when part deliveries are carried out or we have undertaken other services such as shipping costs, for example, or transportation and installation. Forwarding is normally carried out at the cost and risk of the customer.

2. If forwarding is delayed due to circumstances beyond our control, the risk passes to the customer as of the day the delivery items were ready for dispatch.

3. Notwithstanding his rights under paragraph G, delivered items are to be taken by the customer even if they have minor defects.

## F. Retention of title

1. Until payment of all claims arising from the business relation with the customer is made in full, we retain title to the delivery item (reserved item).

2. Up until passing of title, the customer shall insure the reserved item against loss, breakage, fire, water or other damage. The customer already assigns all rights ensuing from the relevant insurance contracts and his claims against the insurer to us. We accept such assignment.

3. The customer is neither permitted to pledge nor assign the reserved item as security. In the case of any attachment as well as seizure or other dispositions, the customer shall inform us without undue delay.

In the case of breach of contract on the part of the customer, particularly default of payment, we are entitled to take back the reserved item after reminder. This also applies if the customer is overindebted or suspends payments, or an application is filed to commence insolvency proceedings against his assets, or other substantial deterioration of his economical circumstances occurs. Assertion of retention of title as well as an attachment of the reserved item by us are not deemed as withdrawal from the contract.

4. The customer is entitled to resell the reserved item in the ordinary course of business on his normal terms. In the event of resale, the claims of the customer ensuing from resale are already assigned to us up to the amount of our invoice value (including turnover tax). We herewith accept the assignment. The customer is also authorized after the assignment to collect these claims. If the customer defaults, if an application is filed to commence insolvency proceedings, if the customer is overindebted or suspends payments, or other substantial deterioration of his economic circumstances occurs, then the right to resell and the authorization to collect claims expire. In this case, we can furthermore make use of our power, which remains unaffected, to collect the assigned claims ourselves and to demand that the customer notifies his debtors of the assignment. Irrespective of that, we can demand at any time that the customer discloses the assigned claims and the debtors thereof to us, provides all the necessary details for collection and surrenders the appropriate documents.

5. Processing or reconstruction of the reserved item by the customer is always carried out on our behalf. If the reserved item is worked in with other items not belonging to us then we acquire co-ownership of the new item in proportion to the value of the reserved item to the other worked-in items at the time of the work process. Otherwise the same applies to the item created by processing / working as for other reserved items (see above).

6. If the reserved item is thus combined with other items not belonging to us that it becomes an integral part of a single item, then we acquire co-ownership of the new item in proportion to the value of the reserved item to the other combined items at the time of combination. If combination is such that the item of the customer is regarded as the main item, then it is deemed as agreed that the customer assigns us pro rata co-ownership. The customer retains the thus created co-owned item in safekeeping for us. The provisions regarding combination correspondingly apply in the event of mixing or mingling. Otherwise the same applies to new items created by mixing or mingling or combining as for other reserved items (see above).

7. We undertake to release securities due to us in so far as their value exceeds the claims to be secured by more than 20 %.

## G. Defects

1. The customer is to check the delivered item carefully and promptly after delivery and to put forward in writing any possible defects without undue delay as soon as recognizable.

2. In the case of faulty delivery or performance the customer is entitled to elimination of the defect or delivery of a faultless item / production of new work (subsequent fulfilment) at our discretion. If we refuse to carry out subsequent fulfilment, it proves to be a failure, is unacceptable to the customer, or does not take place within a reasonable deadline set by him, then the customer has the choice of demanding a reduction, or withdrawing from the contract, or - in the case of a contract for work and services - remedy the defects himself at our expense in accordance with § 637 BGB (German Civil Code). Withdrawal is ruled out if the defect is minor, or building work is concerned. The remedy of defects by the customer is ruled out if we have rightly refused subsequent fulfilment. In other respects we are only liable in accordance with paragraph H of these General Terms and Conditions for Sale, Payment and Delivery.

3. A guarantee for the quality of the delivered item, or of the work to be carried out by us as defined by § 443 BGB (German Civil Code), must be expressly undertaken by us. In particular, such a guarantee is not given by merely mentioning such qualities, e.g. in the case of suitability, weight, consumption or performance specifications.

4. Claims based on defects are ruled out in particular in the following cases: Inappropriate or improper use, defective assembly or incorrect commissioning by the customer or third persons, natural wear and tear, defective or negligent handling - particularly excessive loading -, unsuitable fuel, substitute materials, defective building work, unsuitable subsoil, chemical, electrochemical or electrical influences, in as far as we are not responsible for these. If the scope of delivery or performance is altered at the request of the customer after conclusion of the contract, and the quality or suitability of the delivered item, or of the work to be carried out by us as defined by §§ 434, 633 BGB (German Civil Code) is affected because of that, then claims based on defects are ruled out in as far as the negative effects are attributed to the alteration wishes of the customer.

5. Claims of the customer based on defects are subject to a limitation period of one year. This does not apply in the case of a building and work, the success of which involves the rendering of planning or supervision work for such building, or when the delivered item is used for a building in accordance with its customary manner of use and has caused its defectiveness.

6. We can refuse subsequent fulfilment as long as the customer is in default with his duties. A right of retention on account of any delivery defects amounting to up to three times the value of the costs to eliminate the defects remains unaffected hereby.

7. For subsequent fulfilment the customer is obliged to provide services on site to the same extent as for the main contract. Replaced parts are to be returned to us.

## H. Liability

1. Damage claims of the customer as a result of all possible breaches of duty irrespective of whether from obligation or tort - particularly with regard to consequential damages (including lost profit) - are excluded. The same applies to claims for the reimbursement of expenses in accordance with § 284 BGB (German Civil Code).

2. Our liability for damages arising from the violation of life, body or health, for claims under the Product Liability Act, for guarantees (excluding consequential damages beyond the guarantee), as well as all foreseeable damages, for which we are blamed intent or gross negligence, remains unaffected. We are liable for property damages as a result of slight negligence, as far as we are capable of obtaining cover in the context of our existing third party liability insurance.

3. For the culpable violation of essential contractual duties as defined by § 307, subsection 2 no. 2 BGB (German Civil Code) we are also liable for slight negligence, however, only for foreseeable damages and only up to EUR 5,000,000.00 (or up to EUR 500,000.00 when it concerns a small contract with an order value of no more than EUR 10,000.00 net).

## I. Contract documents, property rights

1. As to all contract documents, such as drafts, drawings, calculations and cost estimates, we reserve our title and copyright. They may neither be duplicated nor made available to third persons without our consent. We are exclusively entitled to any rights to patents, utility models, etc. even if these are not yet applied for. Reproduction of our products is only permitted with our written consent.

2. In as far as the scope of delivery or performance includes software, the customer has a non-exclusive right to use the software including its documentation, however, only on one system and the delivery item intended for that purpose. Copyright references are not to be removed or altered, no sublicensing is allowed.

## K. Place of performance, place of jurisdiction and applicable law

1. Exclusive place of performance for both parties to the contract is our place of business 71032 Böblingen/Germany. In as far as our customers are merchants or legal entities under public law or public funds, or do not have a general place of jurisdiction in the Federal Republic of Germany, the competent courts for our place of business 71032 Böblingen/Germany are agreed upon as the place of jurisdiction. However, we are also entitled to sue at any other statutory place of jurisdiction.

2. The legal relations with our customers are governed exclusively by the laws of the Federal Republic of Germany. Application of the UN Convention on Contracts for the International Sale of Goods is excluded.

## L. Burden of proof, alterations, invalidity clause

1. Existing rules of burden of proof for the benefit of the customer are not affected by these General Terms and Conditions for Sale, Payment and Delivery.

2. Alterations to these General Terms and Conditions for Sale, Payment and Delivery or other contractual agreements must be set down in writing.

3. Should particular provisions of these General Terms and Conditions for Sale, Payment and Delivery become ineffective by law or through a particular contract, the validity of the remaining provisions is not affected by this.

# EISENMANN

SERVICE

## Offre pour

**Client :** Saint-Gobain Abrasif  
78702 Conflans-Sainte-Honorine, France  
**Type d'installation :** Oxydateur thermique  
**Description :** échange commande API S5 → S7



**Installation n° :** 83-168-005-E1  
**Année de fabrication :** 2001  
**Offre n°** KS 81018-1

### Votre interlocuteur :

Technique  
M. Lingstädt  
Tel. +49 (0)7031 / 78-2667  
Fax : +49(0)7031 78 22 – 2667  
E-mail : udo.lingstaedt@eisenmann.com

Commercial  
M. Scheible  
Tel. +49 (0)7031 / 78-2533  
Fax : +49(0)7031 78 22 – 2533  
E-mail : thomas.scheible@eisenmann.com

| Version | Date       | Remarque             |
|---------|------------|----------------------|
| 1.1     | 07.08.2012 | Prix adaptation 2012 |

#### EISENMANN Service GmbH & Co. KG

Tübinger Straße 81 · 71032 Böblingen · Boîte postale 1280 · 71002 Böblingen · Allemagne · Tel. +49 7031 78-0 · Fax +49 7031 78 10 00  
www.eisenmann.com · info@eisenmann.com · Siège : Böblingen · AG Stuttgart HRA 241946 · N° TVA DE 145 141 541  
Sociétaire : EISENMANN Service Verwaltung GmbH · Siège : Böblingen, AG Stuttgart HRB 245855  
PDG : Dr. Matthias v. Krauland, Dr. Thomas Beck, Dr. Kersten Christoph Link, Dr. Johann Halbartschlager, Holger Ernst

Offre : KS 81018-1

Client : Saint-Gobain Abrasif

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduction</b>  | <b>3</b>  |
| 1.1      | Recommandation d'urgence   | 3         |
| 1.2      | Conformité CE  | 3         |
| <b>2</b> | <b>Conditions générales de l'offre</b>                             | <b>4</b>  |
| 2.1      | Conditions et directives   | 4         |
| 2.1.1    | Conditions ambiantes d'après la norme DIN 60206                    | 4         |
| 2.1.2    | Directives   | 4         |
| 2.1.3    | Besoins en énergie et média  | 4         |
| <b>3</b> | <b>Étendue de la livraison et des prestations</b>                  | <b>5</b>  |
| 3.1      | Installation à actualiser  | 5         |
| 3.2      | Schéma matériel / schéma logiciel, visualisation de l'installation | 5         |
| 3.3      | Transformation de l'armoire de commande                            | 5         |
| 3.4      | Mise en service  | 5         |
| 3.5      | Délai de livraison   | 6         |
| 3.6      | Divers   | 6         |
| 3.7      | Option: Programmation hebdomadaire                                 | 6         |
| <b>4</b> | <b>Autres prestations</b>  | <b>7</b>  |
| 4.1      | Formation / instruction  | 7         |
| 4.2      | Pièces de rechange   | 7         |
| 4.3      | Suivi de démarrage   | 7         |
| 4.4      | Documentation  | 7         |
| 4.4.1    | Documentation du logiciel  | 7         |
| 4.4.2    | Documentation du matériel  | 7         |
| <b>5</b> | <b>Conditions commerciales</b>                                     | <b>8</b>  |
| 5.1      | Délai de livraison   | 8         |
| 5.2      | Période de validité de l'offre                                     | 8         |
| 5.3      | Fixation des prix  | 8         |
| 5.4      | Conditions de paiement   | 8         |
| 5.5      | Indemnités de retard   | 8         |
| 5.6      | Garantie et responsabilité   | 9         |
| 5.7      | Réception et transfert de risques                                  | 9         |
| 5.8      | Généralités  | 10        |
| 5.9      | Exclusions / Prestations vous incombant                            | 10        |
| <b>6</b> | <b>Prix</b>  | <b>11</b> |

Offre : KS 81018-1

Client : Saint-Gobain Abrasif

## 1 Introduction

L'offre décrit les livraisons et prestations pour la mise à niveau de l'oxydateur thermique régénératif 83-168 livré en 2001.

Les livraisons et prestations suivantes seront fournies :

Mise à niveau de l'automate programmable de l'oxydateur thermique régénératif de S5 vers S7  
Adaptation de la visualisation Intouch

### 1.1 Recommandation d'urgence

La technique de contrôle de la série Siemens Simatic-S5 qui a été utilisée sur l'installation en 2001 a été retirée depuis plusieurs années et n'est plus produite depuis déjà longtemps.

Concrètement, cela signifie que :

- les modules utilisés ne sont plus disponibles à la commande
- en cas de panne d'un des modules API, celui-ci peut uniquement être réparé dans les usines Siemens

Un tel cas aurait pour conséquence l'immobilisation complète de l'installation pour plusieurs jours voire plusieurs semaines.

**C'est pourquoi nous recommandons expressément la migration vers le nouveau modèle de commande Simatic-S7.**

### 1.2 Conformité CE

Cette offre ne présente pas de modification essentielle de l'installation au sens de la Directive Machines 2006/42/CE. C'est pourquoi nous ne pouvons pas fournir de déclaration de conformité CE. L'objet du contrat fera cependant l'objet d'une déclaration de conformité constructeur qui vous sera remise.

Cette offre n'inclut pas l'adaptation de l'automate programmable de l'installation à d'éventuelles modifications de normes et directives techniques, professionnelles et légales susceptibles d'advenir.

Nous partons du principe de la protection des droits acquis pour cette installation. Si de votre côté existent des doutes quant à ce présumé, veuillez prendre contact avec les autorités d'inspection et d'homologation.

## 2 Conditions générales de l'offre

Notre offre est basée sur les documents suivants :

- Documents relatifs à l'installation d'origine 83-168-005-E1
- Conversation téléphonique du 16.04.2010 avec Madame Meltzer

### 2.1 Conditions et directives

#### 2.1.1 Conditions ambiantes d'après la norme DIN 60206

|                            |   |  |
|----------------------------|---|--|
| Altitude de l'installation | : | <1000 m au dessus du niveau de la mer            |
| Température ambiante       | : | $\geq 5^{\circ}\text{C} \leq 40^{\circ}\text{C}$ |
| Humidité relative de l'air | : | $\leq 70\%$ sans condensation                    |

#### 2.1.2 Directives

L'offre est conforme à la Directive Machines 2006/42/EG et a été développée dans le respect des normes harmonisées suivantes :

|                |  |
|----------------|--|
| Norme EN 292   | Sécurité des machines, appareils et installations                    |
| Norme EN 1050  | Sécurité des machines, principes concernant l'évaluation des risques |
| Norme EN 60204 | Équipement électrique de machines industrielles                      |
| Norme VDE 0116 | Équipement électrique d'installations thermiques                     |
| Norme EN 954   | Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité             |
| Norme EN 563   | Sécurité des machines, Températures des surfaces tangibles           |
| Norme EN 614   | Sécurité des machines, principes généraux d'ergonomie                |

Spécifications techniques nationales (allemandes) utilisées  
BGV A2 Prescriptions générales de prévention des accidents  
BGV A2 Prescriptions de prévention des accidents, installations électriques

#### 2.1.3 Besoins en énergie et média

|                              |   |                           |
|------------------------------|---|---------------------------|
| Air comprimé                 | : | 6 bars, non condensant    |
| Eau chaude de process        | : | $\leq 90^{\circ}\text{C}$ |
| Gaz naturel                  | : | 100 hPa                   |
| Tension d'alimentation       | : | 3 x 400V+5% -10%, 50 Hz   |
| Tension de service du moteur | : | 3 x 400V+5% -10%, 50 Hz   |

## 3 Étendue de la livraison et des prestations

- Conception électrique et remaniement des schémas matériel
- Conception logiciel et conversion du programme de commande S5 vers S7
- Adaptation de la visualisation Intouch à la liaison TCP/IP vers S7
- Tests en bureau d'étude
- Transformation de l'armoire de commande S5 → S7
- Mise en service
- Suivi de production après achèvement de la mise en service
- Documentation

### 3.1 Installation à actualiser

- 83-168-005-E1 Oxydateur Thermique
- Visualisation Intouch de l'installation

### 3.2 Schéma matériel / schéma logiciel, visualisation de l'installation

- Étude de projet et mise en œuvre de la conception matériel
- Adaptation/correction des schémas électriques existants
- Conversion du programme de commande S5 vers S7
- Adaptation de la visualisation Intouch existante
- Test fonctionnel de tous les schémas dans notre bureau d'étude et tests préliminaires.

### 3.3 Transformation de l'armoire de commande

L'intégralité de l'automate programmable Simatic-S5, composée d'un châssis de base et de 2 châssis d'extension, doit être remplacée par le matériel de la série Simatic-S7. L'ensemble des signaux des modules numériques doivent être reconnectés aux nouveaux modules S7.

Les racks du modèle S5 seront échangés par les racks de la série S7, placés au même endroit dans l'armoire de commande.

Les signaux numériques E/S resteront connectés au connecteur frontal S5 et seront raccordés aux nouveaux modules S7 par le biais d'un adaptateur.

Le recâblage définitif sur le connecteur frontal S7 aura lieu après la mise en service.

### 3.4 Mise en service

Pour la transformation de l'armoire API et la remise en service de l'installation, nous avons besoin d'environ 6 jours consécutifs.

En cas de commande, le client et le fournisseur devront se mettre d'accord sur une période de faible activité appropriée.

Il est possible que des perturbations de la production interviennent après la phase de mise en service. Nous avons prévu un suivi de production d'une durée de 5 jours, en un poste, par un ingénieur logiciel.

Le suivi de production comprend une séance de formation des opérateurs et personnels de maintenance.

Offre : KS 81018-1

Client : Saint-Gobain Abrasif

### 3.5 Délai de livraison

La durée nécessaire à la conception est de 10 à 14 semaines environ à compter de la réception d'une commande écrite.

La mise en service a lieu à une date dont il sera convenu conjointement.

### 3.6 Divers

Les composants S7 suivants sont prévus :

| Unité | Module S7   | N° de commande     |
|-------|---|--------------------|
| 1     | Bloc d'alimentation PS 407/ 10A avec batterie de sauvegarde | 6ES7407-0KA02-0AA0 |
| 1     | CPU 414-3 2,8 Mo de mémoire avec Ethernet/Profinet          | 6ES7414-3EM05-0AB0 |
| 1     | Carte mémoire RAM 2 Mo                                      | 6ES7952-1AL00-0AA0 |
| 1     | Châssis porte modules (rack) centralisé UR1 18 emplacements | 6ES7400-1TA01-0AA0 |
| 2     | Châssis porte modules (rack) centralisé ER1 18 emplacements | 6ES7403-1TA01-0AA0 |
| 7     | SM421 32 DE, 24VDC  | 6ES7421-1BL01-0AA0 |
| 4     | SM422 32DA, 24VDC, 0,5A                                     | 6ES7422-1BL00-0AA0 |
| 3     | SM431 16 AE, 4 – 20 mA                                      | 6ES7431-0HH00-0AB0 |
| 1     | SM432 8AA, U/I  | 6ES7432-1HF00-0AB0 |
| 15    | Connecteur frontal, 48 points, bornes à vis                 | 6ES7492-1AL00-0AA0 |

### 3.7 Option: Programmation hebdomadaire

Intégration d'une horloge hebdomadaire de commutations dans le logiciel Intouch du PC de supervision

A cette fin une image sur écran supplémentaire sera programmée sur laquelle on peut saisir les différentes journées de travail et pour définir les jours de Marche / Arrêt des deux OTR.

L'automate programmable S7 lit les temps définis dans ce tableau et exécute automatiquement les commutations Marche / Arrêt.

## 4 Autres prestations

### 4.1 Formation / instruction

Nous avons prévu une formation au cours du suivi de démarrage. Les collaborateurs y seront initiés à la manipulation et/ou à la maintenance de l'installation construite dans le cadre de l'automate programmable. Cette formation ne dispense pas les compétences de base indispensables et normalement acquises dans le cadre d'une formation professionnelle ou d'une formation au produit.

### 4.2 Pièces de rechange

Les pièces de rechange ne font pas partie de notre offre. Si vous le souhaitez, nous pouvons vous faire parvenir une offre détaillée après achèvement de la phase de conception.

### 4.3 Suivi de démarrage

Pour la période suivant la mise en service de l'installation par le client, nous avons prévu le suivi de démarrage par un ingénieur logiciel pour une durée de 5 jours, en 1 poste. Cette période servira à résoudre les défaillances éventuelles et à initier les travailleurs à la manipulation de l'installation.

### 4.4 Documentation

La documentation est livrée exclusivement pour l'étendue de la livraison et des prestations offertes en langue allemande.

#### 4.4.1 Documentation du logiciel

Le logiciel est documenté et archivé sur support de données au moyen de l'outil (Step 7) mis à disposition par le fabricant de l'automate programmable. Le support de données sera remis au client.

#### 4.4.2 Documentation du matériel

Les schémas des connexions sont créés avec le système IAO Intergraph Eplus+, version actuelle, sous la forme prescrite par la norme européenne. Ils seront remis au client final sous forme d'un support de données (CD-ROM, une seule copie) à la fin de la mise en service, une impression papier des schémas électriques est exclue.

Les composants, appareils, armoires, borniers etc. ne faisant pas partie de cette offre seront représentés sur les schémas de connexion par des "Black Box". Ceci signifie que tout schéma interne est exclu et que seules les connexions des borniers ou interfaces seront représentées dans la mesure où celles-ci seront connues au moment de la création du schéma.

Les schémas de circuits internes des composants système installés ne seront pas livrés.

## 5 Conditions commerciales

### 5.1 Délai de livraison

Le délai de livraison est d'environ 2-3 mois à compter de la réception par le preneur d'ordre d'une commande écrite dont les détails techniques et commerciaux ont été éclaircis ainsi que de l'acompte et / ou des documents dont l'envoi a été préalablement conclu. Date d'exécution à convenir conformément au point 3.4.

### 5.2 Période de validité de l'offre

L'offre est valable jusqu'au 30/09/2012 dans la mesure où elle n'a pas fait l'objet d'une rétractation ou bien été remplacée par une offre actualisée.

### 5.3 Fixation des prix

Les prix sont des prix nets, emballage inclus, franco lieux de déchargement du client. (CIP, Incoterms 2000)

Si des prestations supplémentaires, non connues au moment de la commande, devaient s'avérer nécessaires, nous facturerons celles-ci sur présentation de la preuve de leur nécessité ou, s'il en a été conclu ainsi, sur présentation d'une offre complémentaire.

### 5.4 Conditions de paiement

Cette offre se base sur les conditions de paiement suivantes :

Le donneur d'ordre doit s'acquitter du paiement, majoré des taxes applicables, dans un délai de 10 jours suivant la date de facturation, sans escompte et au domicile du vendeur selon les conditions suivantes :

50% à réception de la confirmation de commande et de la facture d'acompte.

40% à mise à disposition

10% après signature conjointe du procès-verbal de réception, au plus tard 4 semaines après émission par le preneur d'ordre de l'avis de mise à disposition pour réception.

Si la livraison prend du retard pour des raisons relevant de l'acheteur, la livraison est considérée comme exécutée à émission de l'avis de mise à disposition pour livraison.

### 5.5 Indemnités de retard

En cas de dépassement des délais dont il a été convenus de façon contractuelle, EISENMANN assume la responsabilité pour les dommages avérés et entraînés par le retard jusqu'à 0,5% maximum de la valeur nette de facturation de l'installation complète par semaine complète de retard, dans la limite de 5% maximum de la valeur nette de facturation. Toute autre prétention liée au retard est exclue.

Offre : KS 81018-1

Client : Saint-Gobain Abrasif

réception ne peut être refusée si l'installation présente des défauts qui ne perturbent ni la sécurité ni les fonctions essentielles. Les défauts seront enregistrés dans un protocole et traités dans un délai convenu. Si la réception est retardée pour des raisons indépendantes du preneur d'ordre, l'installation est considérée comme réceptionnée au plus tard 4 semaines après émission de l'avis de mise à disposition pour réception. Les risques sont automatiquement transférés au client si l'installation est mise en service par son personnel en conditions de production.

### 5.8 Généralités

Le contrat est soumis à la législation allemande, à l'exclusion de la Convention des Nations unies sur les contrats de vente internationale de marchandises.

Du reste, les "Conditions de vente, de paiement et de livraison 10/03" de l'Eisenmann Service GmbH & Co. KG s'appliquent.

Vous trouverez ces conditions au verso du courrier.

### 5.9 Exclusions / Prestations vous incombant

Les livraisons et prestations n'ayant pas été énoncées de manière explicite dans le paragraphe relatif à l'étendue de la livraison et des prestations ne font pas partie de cette offre.

L'exécution des prestations nous incombant pour le montage et la mise en service est soumise aux conditions préalables suivantes. Celles-ci doivent être mises à notre disposition en temps voulu, en quantité suffisante et gratuitement au moment de la livraison :

- voies de transport au chantier facilement accessibles
- mise à disposition de votre part d'appareils de levage et d'échafaudages appropriés
- exécution de travaux connexes ne faisant pas partie de l'offre comme par exemple des travaux de maçonnerie, peinture, mortaisage et plâtrage.
- alimentation du chantier en eau et électricité
- coordination avec les opérations de montage de fournisseurs tiers
- personnel de maintenance et opérateur (si nécessaire et après concertation)
- moyens de production en quantité suffisante pour procéder au démarrage de l'installation (si nécessaire et après concertation)
- nettoyage de l'installation après achèvement du montage.
- mise à disposition de l'installation avant le début du montage
- accès et utilisation des ateliers de maintenance et de mécanique
- autorisation d'accès pendant toute la durée du montage

# EISENMANN

SERVICE

Offre : KS 81018-1

Client : Saint-Gobain Abrasif

## 6 Prix

|        |   |     |       |
|--------|---|-----|-------|
| Pos. 1 | Ingénierie                                | EUR | incl. |
| Pos. 2 | Matériel API                              | EUR | incl. |
| Pos. 3 | Transformation de l'armoire de commande   | EUR | incl. |
| Pos. 4 | Programmation du logiciel API             | EUR | incl. |
| Pos. 5 | Mise en service électrique, essais inclus | EUR | incl. |
| Pos. 7 | Adaptation Intouch                        | EUR | incl. |
| Pos. 8 | Mise en service visu, essais inclus       | EUR | incl. |

---

**Total** EUR 72.900,00  
hors TVA applicable

Prix Option (3.7): Programmation hebdomadaire EUR 3500,00

**EISENMANN Service GmbH & Co. KG**



**pp Thomas Scheible**  
(Head of Sales)



**pp Udo Lingstädt**  
(Professional Sales Electric)

**Annexe 14 : Devis 1 de Sinthylène**

**Sinthylène s.a.s.**

Chemin des Nivres  
B.P.17 - 01190 PONT DE VAUX  
Tél.: (0) 385 30 31 64 - Fax: (0) 385 306 307

CODE CLIENT : DIV20      31/03/14  
Tél :

N° identifiant CEE : FR 32 305 822 900

**Pont de Vaux, le 31/03/14**  
Nous vous remercions pour votre demande.  
Nous y faisons suite en vous transmettant ce devis que nous pourrions modifier ou compléter si besoin.  
Salutations les meilleures.  
**JP. GENERAT**

**BODDAERT LUCIE**  
3701 CHEMIN DE ROESCRUGGE  
59122 HONDSCHOOTE

**CONCERNE :**  
votre demande par Téléphone du 28/03/2014

| Qté | Désignation   | Prix U. brut | R % | Prix U. net | Montant H.T. |
|-----|---|--------------|-----|-------------|--------------|
|     | Vous bénéficiez d'une remise de 20 %  |              |     |             |              |
| 4   | Fermeture à lanières complète ( y compris le dispositif de suspension )<br>En lanières de 300mm x 2mm réf. "SV 2300"<br>Chevauchement des lanières de 50 mm ( 33 % )<br>Suspension par Comière et Contre-plaques type "CC"<br>Largeur x Hauteur Hors Tout (support inclus)<br>3m00 x 4m00   | 717,00       | 20  | 573,60      | 2 294,40     |
| 4   | Plus-Value ÉVENTUELLE nette pour perçage des lanières   | 12,00        |     | 12,00       | 48,00        |
| 4   | Plus-Value ÉVENTUELLE nette<br>POUR lanières en<br>TISSU polyester NOIR<br>Tissu de polyester haute ténacité 1100 Dtex<br>Enduit silicone + vernis<br>Densité : 350 g/m <sup>2</sup><br>Résistance à la déchirure : 30/25 daN<br>Températures d'utilisation : -60°C/+200°C<br>Resistant aux huiles et solvants  | 48,00        |     | 48,00       | 192,00       |
| 1   | Forfait de port et emballage<br><br>Délai d'expédition actuel 10 à 12 jrs (moins si possible).<br><br>VALIDITE DEVIS<br>ATTENTION : Les tensions actuelles sur le prix des matières premières nous imposent de réduire la durée de validité de nos devis à 1 mois.<br>Passé ce délai, n'hésitez pas à nous recontacter.<br><br><u>REGLEMENT - A LA COMMANDE</u><br><br>Des échantillons sont joints au courrier expédié par poste.<br>Ils illustrent les produits et les confections proposés,<br>(l'aspect peut varier légèrement selon les lots de fabrication) | 126,00       |     | 126,00      | 126,00       |

|                    |                      |              |          |               |           |                    |
|--------------------|----------------------|--------------|----------|---------------|-----------|--------------------|
| Total HT           |                      | Escompte , % | Base TVA | TVA à 20,00 % | Total TTC | <b>NET À PAYER</b> |
| 2 660,40           |                      |              |          | 532,08        | 3 192,48  | <b>3 192,48 €</b>  |
| <b>Règlement :</b> | Chèque à la commande |              |          |               |           |                    |

**Avant de commander, assurez vous que les produits proposés correspondent à vos besoins, en demandant un échantillon gratuit**

# DEVIS DE FOURNITURES

## N° 1403238

CODE CLIENT : DIV20

31/03/14

Tél :

N° identifiant CEE : FR 32 305 822 900

# Sinthylène s.d.s.

Chemin des Nivres

B.P.17 - 01190 PONT DE VAUX

Tél.: (0) 385 30 31 64 - Fax: (0) 385 306 307

Pont de Vaux, le 07/04/14

Nous vous remercions pour votre demande.  
Nous y faisons suite en vous transmettant ce devis que nous pourrions modifier ou compléter si besoin.  
Salutations les meilleures.

JP. GENERAT

**BODDAERT LUCIE**  
3701 CHEMIN DE ROESCRUGGE  
59122 HONDSCHOOTE

**CONCERNE :**

Votre demande par Téléphone du 28/03/2014

| Qté | Désignation  | Prix U. brut | R % | Prix U. net | Montant H.T. |
|-----|--|--------------|-----|-------------|--------------|
|     | Vous bénéficiez d'une remise de 20 %   |              |     |             |              |
|     | -----<br>Devis modifié le 07.04.2014 (remplace le précédent)   |              |     |             |              |
|     | <u>MACHINE 1</u>   |              |     |             |              |
| 2   | Fermeture à lanières complète ( y compris le dispositif de suspension )<br>En lanières de 300mm x 2mm réf. "SV 2300"<br>Chevauchement des lanières de 50 mm ( 33 % )<br>Suspension par Cornière et Contre-plaques type "CC"<br>Largeur x Hauteur Hors Tout (support inclus)<br>3m70/3m30 x 1m50 selon plan | 522,00       | 20  | 417,60      | 835,20       |
| 2   | Plus-Value ÉVENTUELLE nette pour perçage des lanières  | 15,00        |     | 15,00       | 30,00        |
| 1   | Fermeture à lanières complète ( y compris le dispositif de suspension )<br>En lanières de 300mm x 2mm réf. "SV 2300"<br>Chevauchement des lanières de 50 mm ( 33 % )<br>Suspension par Cornière et Contre-plaques type "CC"<br>Largeur x Hauteur Hors Tout (support inclus)<br>2m80 x 2m80                 | 526,00       | 20  | 420,80      | 420,80       |
| 1   | Plus-Value ÉVENTUELLE nette pour perçage des lanières  | 11,00        |     | 11,00       | 11,00        |
| 1   | Fermeture à lanières complète ( y compris le dispositif de suspension )<br>En lanières de 300mm x 2mm réf. "SV 2300"<br>Chevauchement des lanières de 50 mm ( 33 % )<br>Suspension par Cornière et Contre-plaques type "CC"<br>Largeur x Hauteur Hors Tout (support inclus)<br>2m80 x 1m60                 | 371,00       | 20  | 296,80      | 296,80       |
| 1   | Plus-Value ÉVENTUELLE nette pour perçage des lanières  | 11,00        |     | 11,00       | 11,00        |
|     | <u>MACHINE 2</u>   |              |     |             |              |
| 2   | Fermeture à lanières complète ( y compris le dispositif de suspension )<br>En lanières de 300mm x 2mm réf. "SV 2300"<br>Chevauchement des lanières de 50 mm ( 33 % )<br>Suspension par Cornière et Contre-plaques type "CC"<br>Largeur x Hauteur Hors Tout (support inclus)<br>2m23/2m20 x 1m10/0m95       | 306,00       | 20  | 244,80      | 489,60       |
| 2   | Plus-Value ÉVENTUELLE nette pour perçage des lanières  | 9,00         |     | 9,00        | 18,00        |

# DEVIS DE FOURNITURES

## N° 1403238

CODE CLIENT : DIV20

31/03/14

Tél :

N° identifiant CEE : FR 32 305 822 900

# Sinthylène s.d.s.

Chemin des Nivres

B.P.17 - 01190 PONT DE VAUX

Tél.: (0) 385 30 31 64 - Fax: (0) 385 306 307

Pont de Vaux, le 07/04/14

**BODDAERT LUCIE**  
3701 CHEMIN DE ROESBRUGGE  
  
59122 HONDSCHOOTE

**CONCERNE :**

Votre demande par Téléphone du 28/03/2014

| Qté | Désignation   | Prix U. brut | R % | Prix U. net | Montant H.T. |
|-----|---|--------------|-----|-------------|--------------|
| 1   | Fermeture à lanières complète ( y compris le dispositif de suspension )<br>En lanières de 300mm x 2mm réf. "SV 2300"<br>Chevauchement des lanières de 50 mm ( 33 % )<br>Suspension par Cornière et Contre-plaques type "CC"<br>Largeur x Hauteur Hors Tout (support inclus)<br>2m35 x 1m10  | 284,00       | 20  | 227,20      | 227,20       |
| 1   | Plus-Value ÉVENTUELLE nette pour perçage des lanières   | 10,00        |     | 10,00       | 10,00        |
| 1   | Fermeture à lanières complète ( y compris le dispositif de suspension )<br>En lanières de 300mm x 2mm réf. "SV 2300"<br>Chevauchement des lanières de 50 mm ( 33 % )<br>Suspension par Cornière et Contre-plaques type "CC"<br>Largeur x Hauteur Hors Tout (support inclus)<br>2m35 x 0m95  | 268,00       | 20  | 214,40      | 214,40       |
| 1   | Plus-Value ÉVENTUELLE nette pour perçage des lanières   | 10,00        |     | 10,00       | 10,00        |
|     | <u>MACHINE 3</u>  |              |     |             |              |
| 1   | RIDEAU(X) confectionné(s) sur mesure<br>En FILM PVC Réf. "SVA 316" Cristal Armé ép. 30/100<br>(laisse passer la lumière et la vision)<br><br>Confection standard de ces rideaux pour monorail<br>En Haut: Ourlet Renforcé + Œillets Ø8 ts les 330 mm<br>De Côté: Ourlet Renforcé<br>En bas: Ourlet Renforcé Plombé à 300 g/m env.<br>Largeur x Hauteur Hors Tout (support inclus)<br>13m20 x 2m20 | 842,00       | 20  | 673,60      | 673,60       |
| 13  | .m d' ENSEMBLE MONORAIL (rail + chariots + supports + butées)<br>(supports CONTRE MUR, SOUS PLAFOND ou A TIGE à préciser)   | 90,00        | 20  | 72,00       | 936,00       |
| 2   | RAIL COURBE de MONORAIL (angle de 90° avec rayon 50 cm)   | 112,00       | 20  | 89,60       | 179,20       |
| 1   | Forfait de port et emballage<br><br>Délai d'expédition actuel 10 à 12 jrs (moins si possible).  | 250,00       |     | 250,00      | 250,00       |
|     | → Au delà de 4000 € HT un acompte de 40 % est demandé à la commande.  |              |     |             |              |

**DEVIS DE FOURNITURES**  
**N° 1403238**

**Sinthylène s.a.s.**

CODE CLIENT : DIV20  
 Tél :

31/03/14

Chemin des Nivres  
 B.P.17 - 01190 PONT DE VAUX

Tél.: (0) 385 30 31 64 - Fax: (0) 385 306 307

N° identifiant CEE : FR 32 305 822 900

Pont de Vaux, le 07/04/14

**BODDAERT LUCIE**  
 3701 CHEMIN DE ROESCBRUGGE  
 59122 HONDSCHOOTE

**CONCERNE :**

Votre demande par Téléphone du 28/03/2014

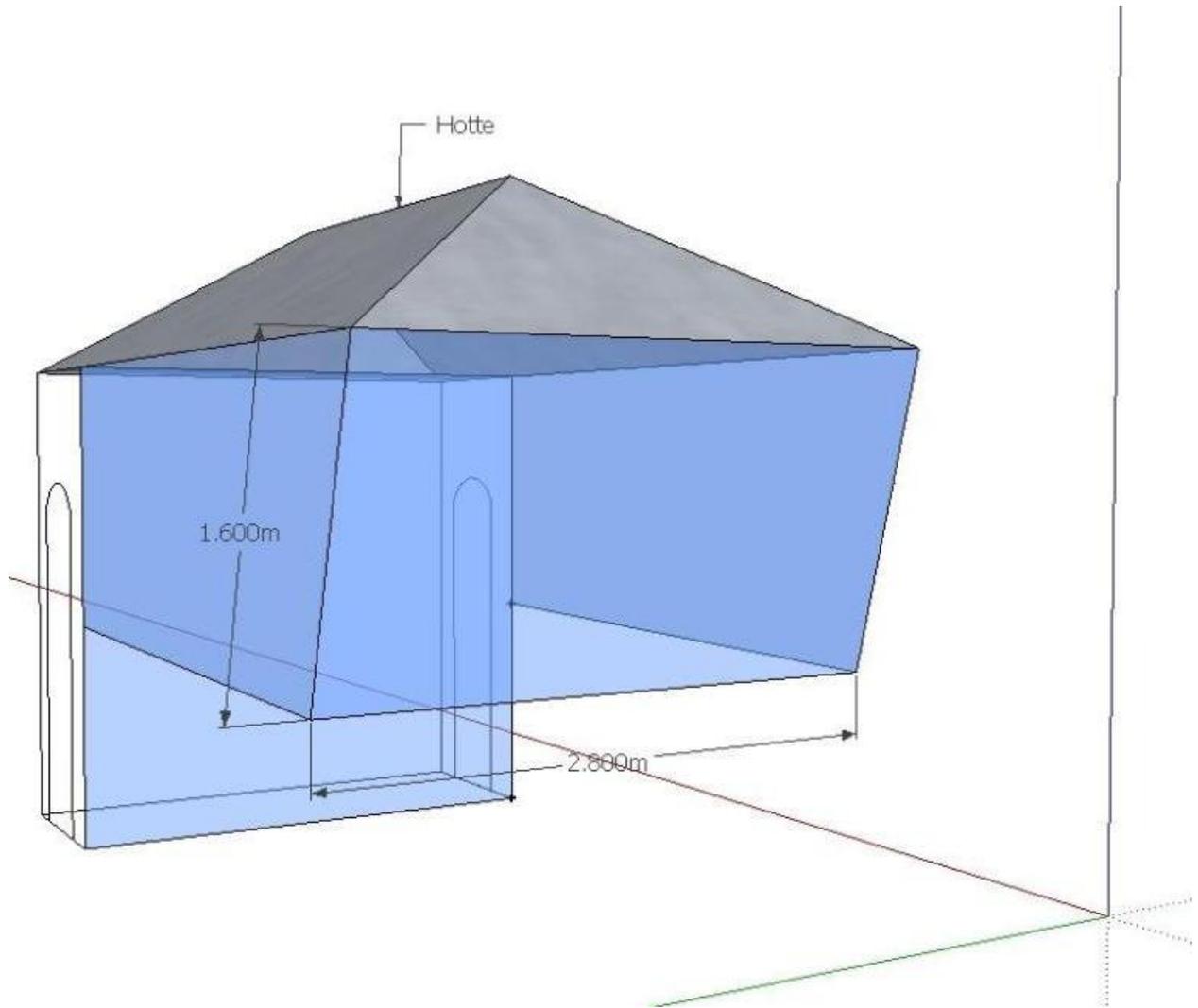
| Qté | Désignation   | Prix U. brut | R % | Prix U. net | Montant H.T. |
|-----|---|--------------|-----|-------------|--------------|
|     | -----<br>Des échantillons sont joints au courrier expédié par poste.<br>Ils illustrent les produits et les confections proposés,<br>(l'aspect peut varier légèrement selon les lots de fabrication) |              |     |             |              |

|                    |  |                      |          |               |           |                    |
|--------------------|--|----------------------|----------|---------------|-----------|--------------------|
| Total HT           |  | Escompte , %         | Base TVA | TVA à 20,00 % | Total TTC | <b>NET À PAYER</b> |
| 4 612,80           |  |                      |          | 922,56        | 5 535,36  | <b>5 535,36 €</b>  |
| <b>Règlement :</b> |  | Chèque à la commande |          |               |           |                    |

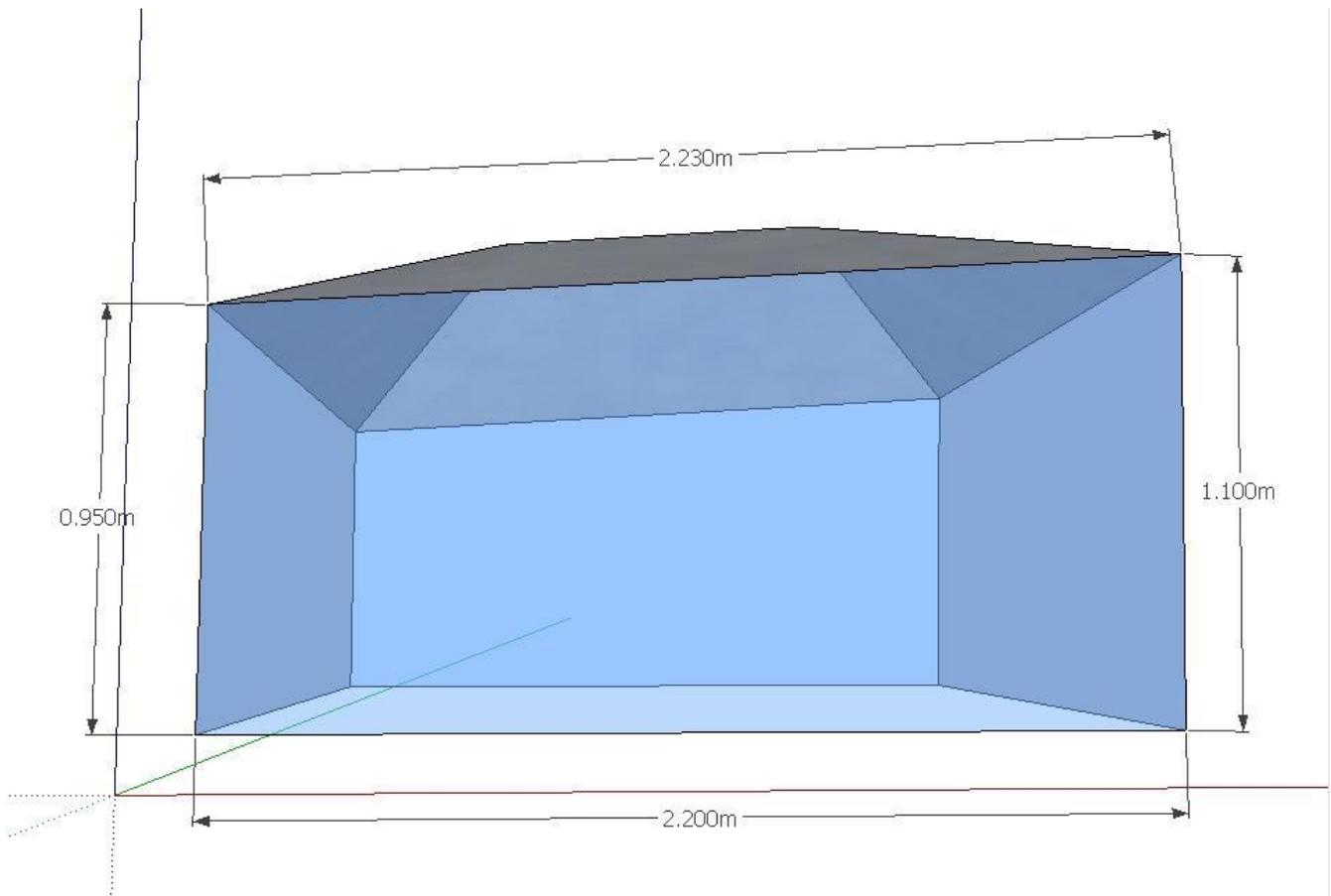
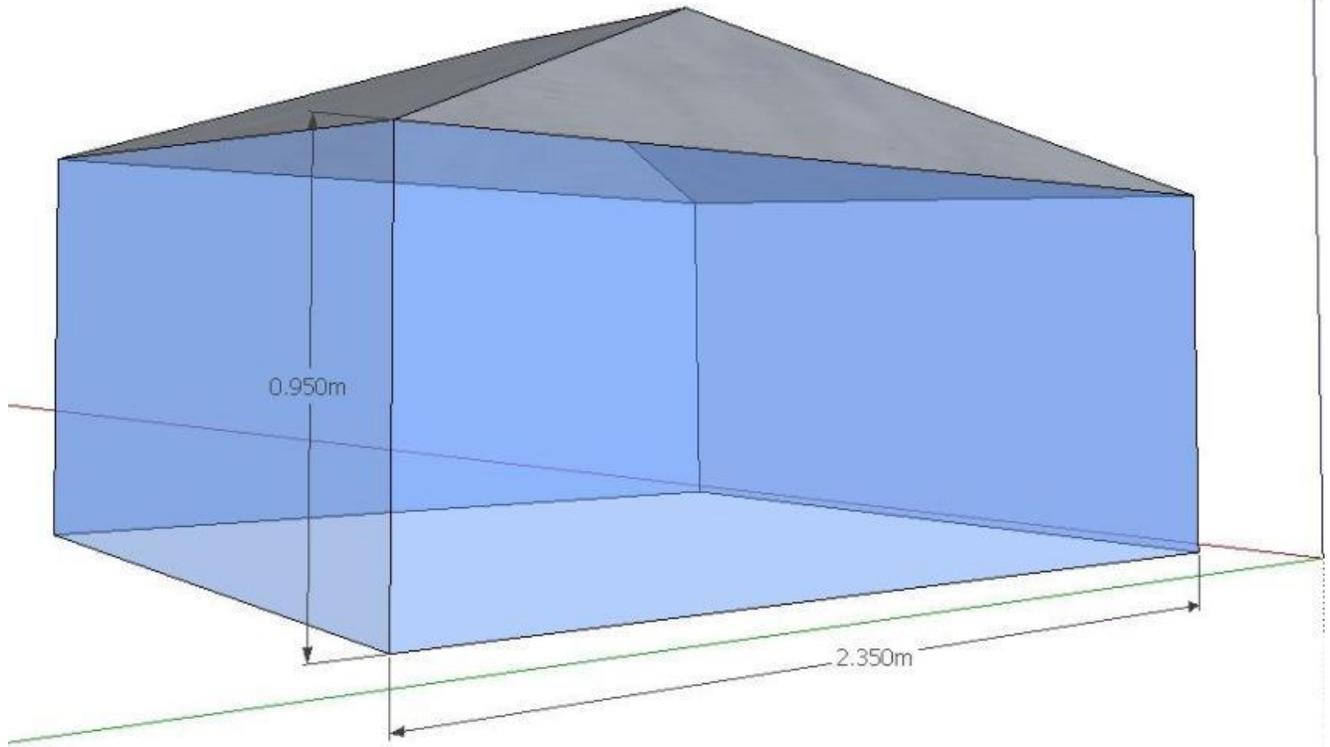
**Avant de commander, assurez vous que les produits proposés correspondent à vos besoins, en demandant un échantillon gratuit**

**Annexe 16 : Schémas des vues des machines de la LAT**

Machine 1 :



Machine 2 :



Machine 3 :

