

**BACCALAURÉAT PROFESSIONNEL**

**PROCÉDÉS DE LA CHIMIE, DE L'EAU  
ET DES PAPIERS-CARTONS**

**SESSION 2025**

**ÉPREUVE E2 : ÉPREUVE TECHNOLOGIQUE  
ÉTUDE D'UN PROCÉDÉ**

**DOSSIER RESSOURCES**

Durée : 4 heures  
Coefficient : 4

*Le dossier se compose de 14 pages, numérotées de 1/14 à 14/14  
Dès que le dossier vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.*

# RÉGÉNÉRATION DES LIQUEURS DE PAPETERIE

La papeterie de MIMIZAN  Gascogne

L'usine de pâte à papier du **GROUPE GASCOGNE** est implantée depuis 1925 à Mimizan dans les Landes.

Située au cœur de sa ressource forestière, elle s'approvisionne en matière première dans un périmètre de 50 à 60 km autour du site.

Cette usine produit, grâce à 4 machines à papier, 150 000 tonnes de papier Kraft naturel frictionné, biomatériau 100 % naturel, non blanchi, biodégradable et recyclable.



Différents types de traitement permettent d'obtenir des bobines destinées :

- aux professionnels de l'emballage et des enveloppes,
- à la production de sacs semi-extensibles et résistants à l'humidité,
- à la production de produits couchés techniques comme des papiers cuissous anti-adhérents.



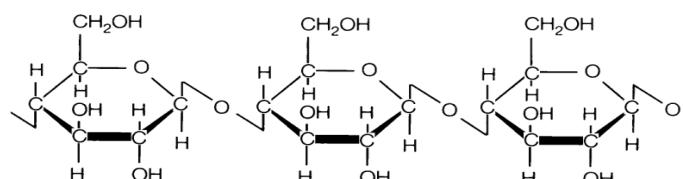
Bobine de papier Kraft



Produit couché technique

## La production de pâte à papier par le procédé KRAFT

La pâte à papier est fabriquée à partir de la cellulose (polymère de glucose) provenant du bois du pin des Landes. La lignine (polymère organique), assimilable à une colle, assemble les fibres de cellulose entre elles. La fonction de la lignine dans le bois est d'apporter de la rigidité au matériau.

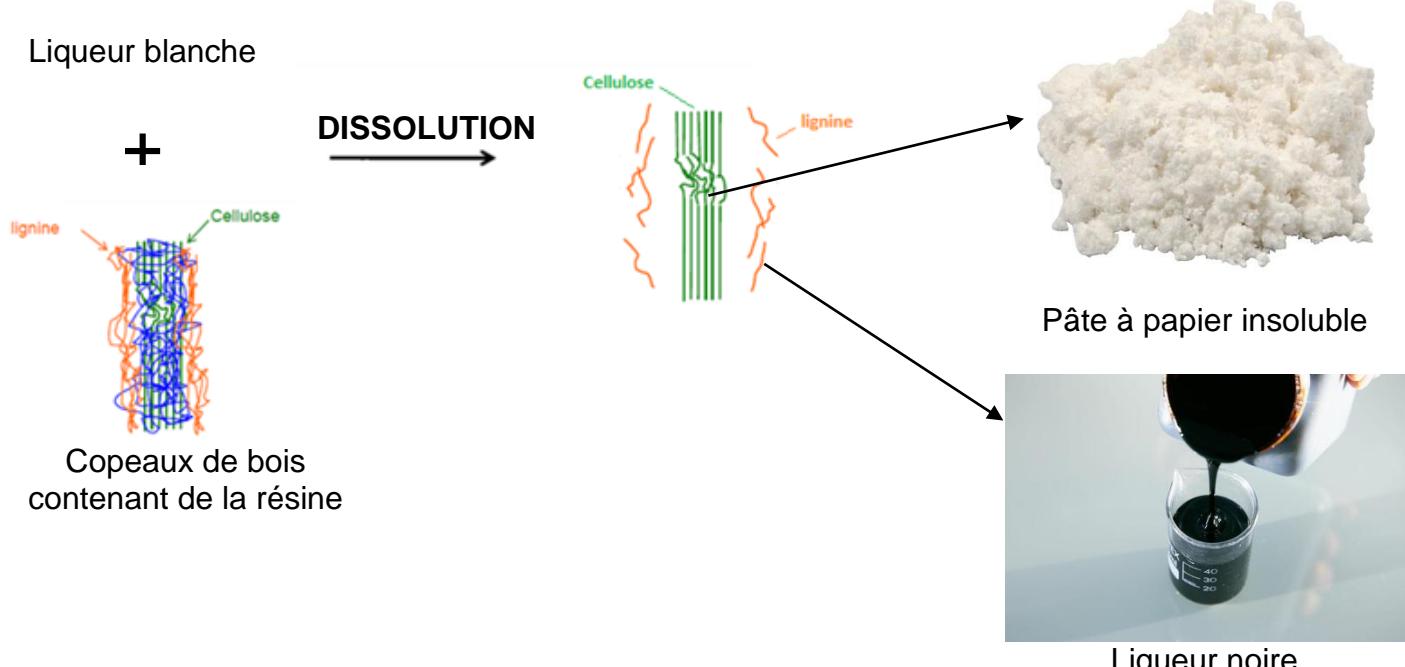


Structure chimique de la cellulose

Pour récupérer ces fibres de cellulose, on doit dissoudre à chaud et sous pression la lignine dans une solution appelée « **liqueur blanche** », contenant de la soude NaOH et du sulfure de sodium Na<sub>2</sub>S.

On sépare la pâte à papier insoluble de l'effluent résiduaire appelé « **liqueur noire** » qui contient la lignine et des savons de colophane (voir figure ci-dessous).

En fin de dissolution on récupère des essences de papeteries (essence de térébenthine).



Les fibres de cellulose sont envoyées, sous forme de pâte, vers la fabrication du papier, tandis que la liqueur noire subit un traitement de régénération.

### La régénération de la liqueur noire en liqueur blanche (étape traitée dans le sujet)

Cette étape permet :

- d'une part, de régénérer la liqueur blanche de dissolution afin de réduire la consommation de matières premières et diminuer les rejets,
- d'autre part, de produire de l'énergie par combustion des matières organiques contenues dans la liqueur noire.

Les essences de papeterie (essence de térébenthine), et les savons de colophane sont des sous-produits du procédé Kraft et sont valorisés.



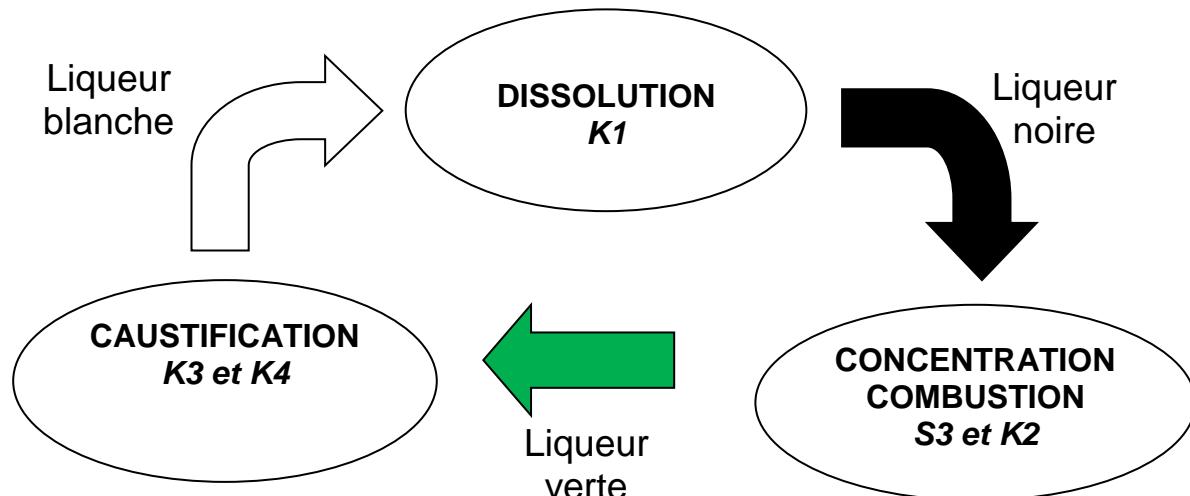
Essence de térébenthine



Colophane

**Le procédé Kraft permet de rendre la production de pâte à papier, économiquement viable et acceptable pour l'environnement.**

## Description du procédé de régénération des liqueurs de papeterie



*Schéma simplifié de la régénération des liqueurs de papeterie.*

### Étape 1 : dissolution de la lignine (transformation de la liqueur blanche en liqueur noire).

On introduit dans le réacteur **K1** fonctionnant à 170 °C et sous 5 bar les copeaux de bois ainsi que la liqueur blanche régénérée, à laquelle on a ajouté en appont la quantité de soude NaOH et de sulfure de sodium Na<sub>2</sub>S nécessaire à la réaction qui dure 1 h 30.

La lignine se dissout dans la solution de soude. La soude NaOH se transforme en carbonate de sodium Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Après remise à l'atmosphère du réacteur **K1**, on récupère en tête du réacteur par détente les essences de papeterie valorisées dans l'industrie de la parfumerie.

Le mélange est évacué vers un filtre laveur à tambour rotatif **S1**. On récupère sur la toile la pâte à papier de cellulose insoluble qui constitue le gâteau et le filtrat, appelé liqueur noire faible. Cette dernière est séparée par décantation dans la cuve **S2**. On évacue par débordement en surface les savons de colophane qui se sont formés au cours d'une réaction secondaire entre les acides résiniques du bois et la soude. Ces savons de colophane sont valorisés dans des entreprises de chimie fine.

La liqueur noire faible contient :

- des matières organiques provenant de la lignine,
- des matières minérales, en particulier du carbonate de sodium Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> et des traces de soude NaOH. Le titre massique en matière sèche (matières organiques et minérales) est de 30 %.

### Étape 2 : concentration et combustion de la liqueur noire (transformation de la liqueur noire en liqueur verte).

Pour rendre la liqueur noire combustible, il est nécessaire d'éliminer l'excédent d'eau. L'opération s'effectue dans l'évaporateur à multiples effets **S3** qui permet d'atteindre un titre massique en matière sèche de 70 %.

Injectées dans la chaudière **K2**, les matières organiques brûlent à 800 °C. L'eau contenue dans la liqueur noire forte produit de la vapeur qui sera réutilisée comme fluide caloporteur dans le réacteur **K1** et l'évaporateur à effet multiple **S3**.

Les matières minérales riches en carbonate de sodium  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  s'accumulent au fond de la chambre de combustion. Elles se présentent sous forme d'un sel fondu appelé « salin ».

Ce salin est dissout avec les petites eaux provenant du laveur de boues **S5** dans le dissolveur **A1** pour produire une solution appelée liqueur verte.

### **Étape 3 : régénération en liqueur blanche par caustification (transformation de la liqueur verte en liqueur blanche).**

L'atelier de caustification constitue l'étape finale du circuit de régénération. Il a pour objectif de fournir la liqueur blanche nécessaire à la fabrication de la pâte à papier.

Dans un premier temps on met en contact dans le réacteur **K3**, appelé « extincteur », la liqueur verte avec de la chaux vive  $\text{CaO}$  recyclée. Celle-ci va réagir avec de l'eau pour former de la chaux éteinte  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , et va stabiliser la température à 100 °C. La réaction est exothermique. Une partie de la chaux qui n'a pas réagi, appelée « incuits », est éliminée et évacuée par une vis sans fin.



Le mélange liqueur verte/chaux éteinte alimente trois réacteurs de caustification **K4** en série dans lesquels on maintient la température à 85 °C par injection de vapeur. On régénère la soude  $\text{NaOH}$  et il se forme du carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ .



### **Étape 4 : régénération de la chaux vive.**

Le carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  étant insoluble, il est séparé de la liqueur caustifiée dans le décanteur **S4** pour donner la liqueur blanche qui est recyclée vers le réacteur **K1**.

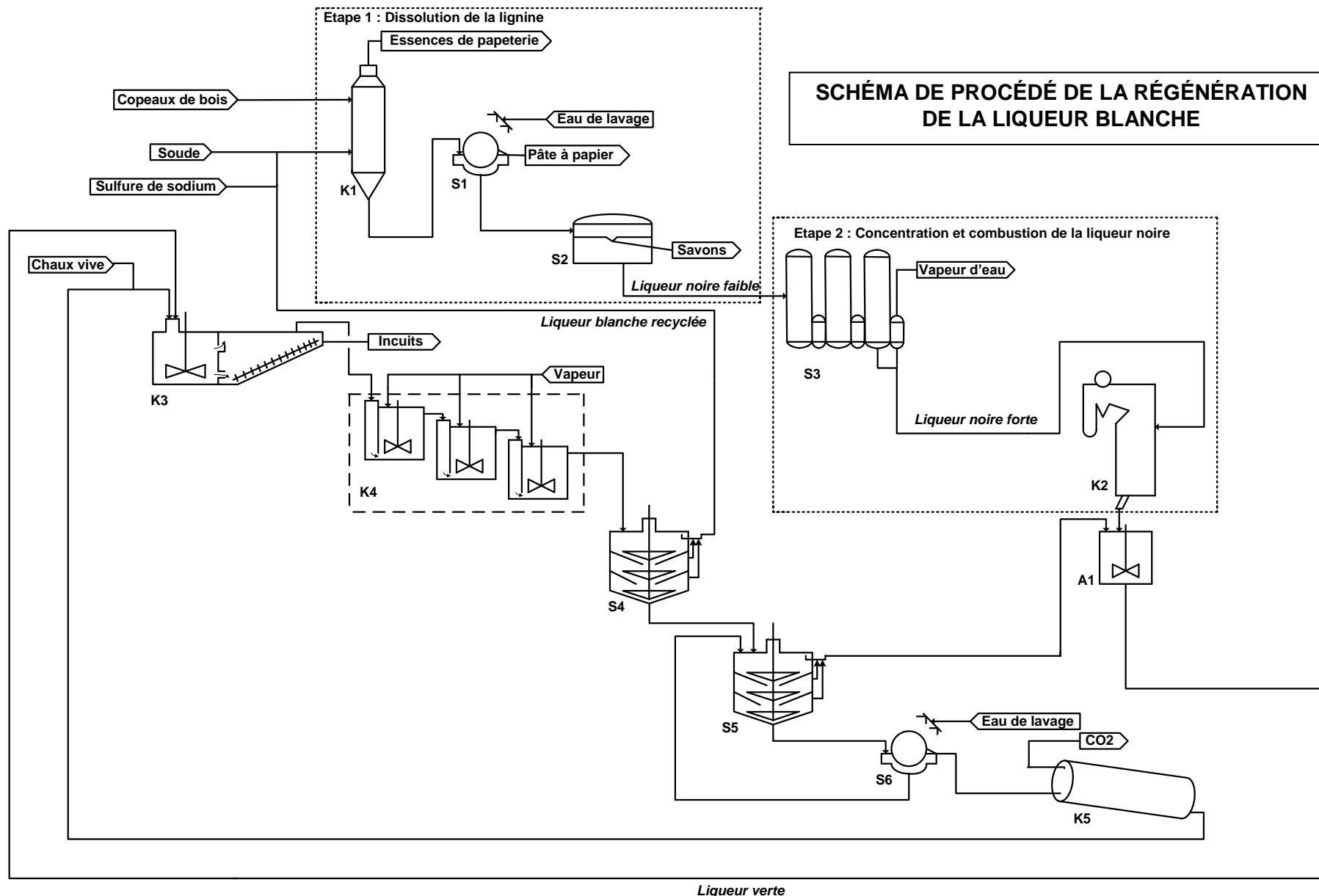
Le carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ , sous forme de boues sortant de **S4**, est lavé dans **S5** par de l'eau chaude provenant du filtre à tambour **S6**, pour récupérer les traces de liqueur blanche résiduaires. Le jus de lavage, appelé « petites eaux », est utilisé pour dissoudre le salin sortant de la chaudière **K2** dans le dissolveur **A1**.

Les boues de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  sont ensuite lavées et filtrées dans le filtre laveur à tambour **S6** puis transformées en chaux vive par calcination à 815 °C dans le four **K5**.

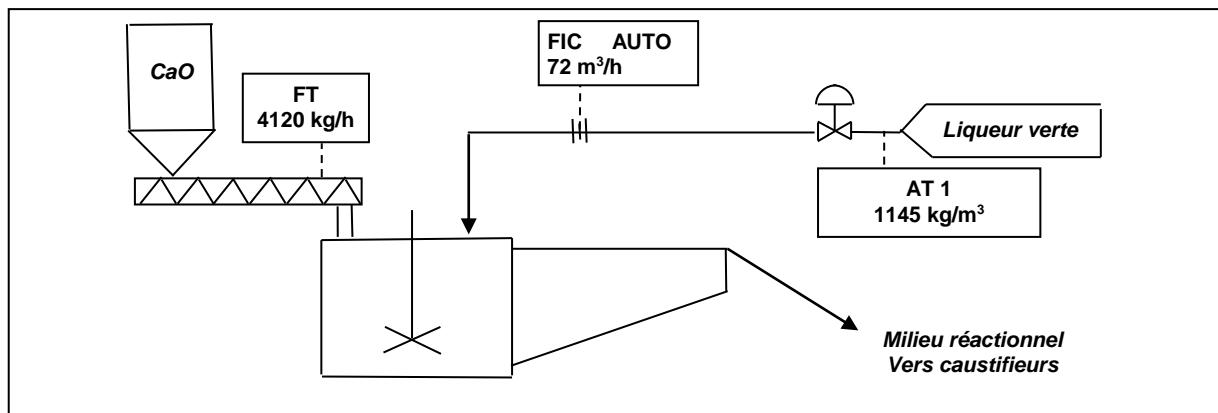


La chaux vive  $\text{CaO}$  est recyclée avec un appoint de chaux vive commerciale vers le réacteur **K3**.

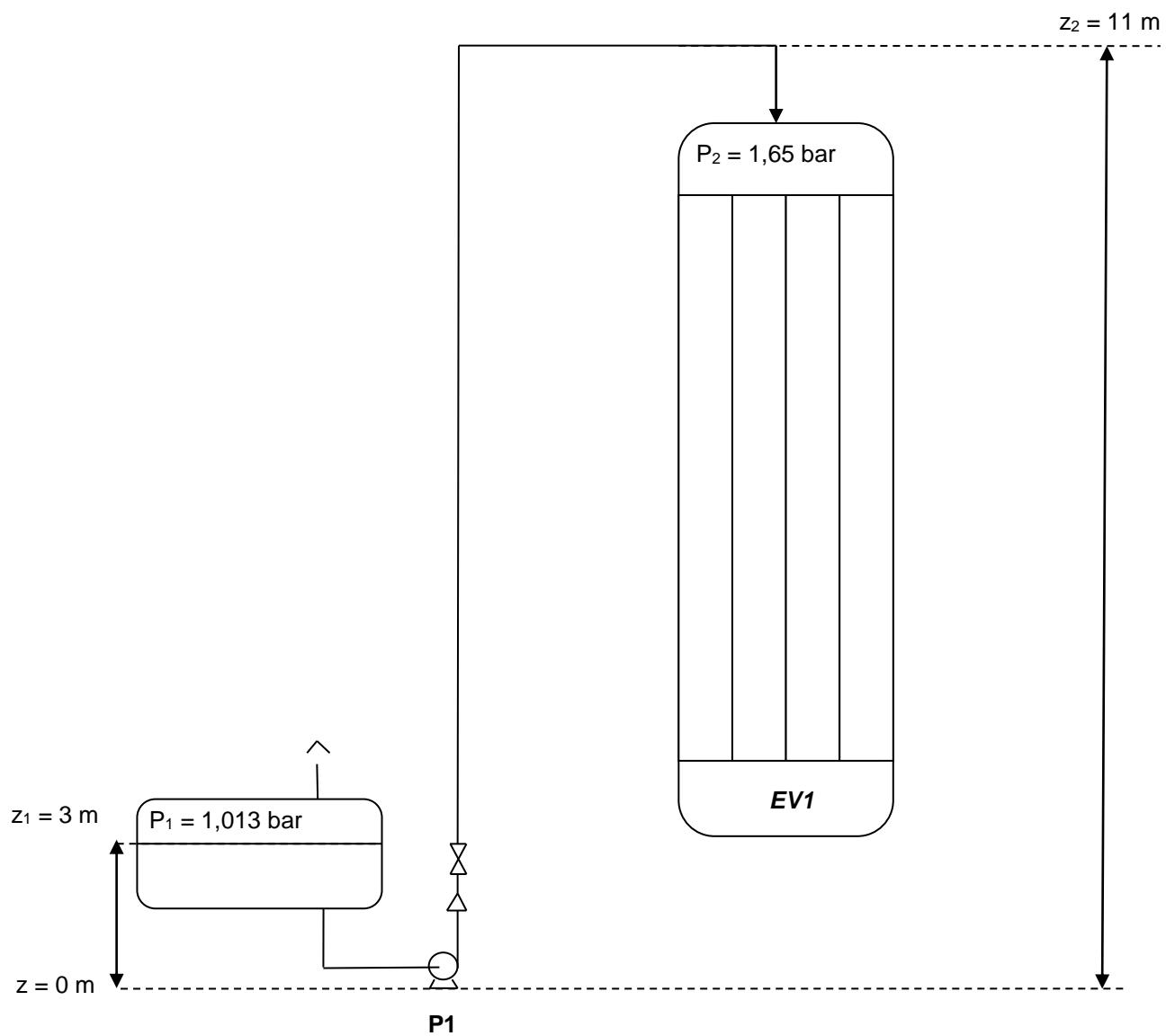
**SCHÉMA DE PROCÉDÉ DE LA RÉGÉNÉRATION  
DE LA LIQUEUR BLANCHE**



## Synoptique du réacteur K3



## Schéma de l'alimentation de l'évaporateur EV1



### Caractéristiques de la liqueur noire diluée :

- Débit massique : 131,1 t/h.
- Masse volumique : 1080 kg/m<sup>3</sup>.
- Viscosité dynamique :  $\mu = 0,002$  Pa.s.

## Caractéristiques du réseau :

### Aspiration

Tubes de diamètre interne 200 mm.  
Longueur droite : 25 m.  
Accessoires à l'aspiration :  
1 coude arrondi à 90° rayon moyen.

### Refoulement

Tubes de diamètre interne 200 mm.  
Longueur droite : 45 m.  
Accessoires au refoulement :  
clapet anti-retour,  
2 coudes arrondis à 90° rayon moyen,  
1 robinet vanne ouverture  $\frac{1}{2}$ .

## Formulaire de mécanique des fluides

### Débit massique

$$q_m = \rho \cdot u \cdot S$$

### Débit volumique

$$q_v = u \cdot S$$

### Section de la canalisation

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

avec : D : diamètre de la tuyauterie en m.  
u : vitesse en m/s.  
 $\rho$  : masse volumique en kg/m<sup>3</sup>.  
 $q_m$  : débit massique en kg/s.  
 $q_v$  : débit volumique en m<sup>3</sup>/s.  
S : en m<sup>2</sup>.

### Calcul de la HMT : équation de Bernoulli (entre 2 points avec une pompe).

$$HMT = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + z_2 - z_1 + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + J_{1-2}$$

P : pression en Pa.

1 bar = 100 000 Pa.

Z : hauteur ou cote en m.

$\rho$  : masse volumique (kg/m<sup>3</sup>).

$q_m$  : débit massique (kg/s).

$u$  (ou  $v$ ) : vitesse (m/s).

$q_v$  : débit volumique (m<sup>3</sup>/s).

D : diamètre en m.

HMT : hauteur manométrique totale en mCL.

S : section surface en m<sup>2</sup>.

$J_{1-2}$  : perte de charge en mCL (entre les points 1 et 2).  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>.

$L_{eq}$  : longueur équivalente totale en m.

# Abaque des longueurs équivalentes

Exemple :

Calculer la longueur équivalente d'un clapet anti-retour placé sur une canalisation de 5 cm de diamètre.

On joint le point  $d = 5 \text{ cm}$  (sur la droite numéro 3) au point E qui représente le clapet anti-retour (sur la droite numéro 1) ; on lit  $L_e = 7 \text{ m}$  (sur la droite numéro 2).

Robinet – vanne :

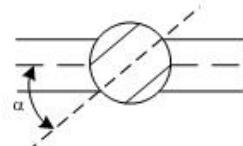
- ouverture  $\frac{1}{4}$  : A
- ouverture  $\frac{1}{2}$  : C
- ouverture  $\frac{3}{4}$  : H
- ouverture 1 : O

Robinet droit à soupape, ouverture : B

Robinet d'équerre à soupape, ouverture 1 : D

Robinet à tournant :

- $\alpha = 10^\circ$  : H
- $\alpha = 20^\circ$  : D
- $\alpha = 40^\circ$  : A

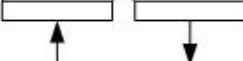


Robinet à papillon :

- $\alpha = 10^\circ$  : G
- $\alpha = 20^\circ$  : D
- $\alpha = 40^\circ$  : A



Coude à  $180^\circ$  : F



Coude brusque à  $90^\circ$  : G



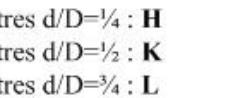
Coude arrondi à  $90^\circ$  :

- de petit rayon : I
- de rayon moyen : J
- de grand rayon : K



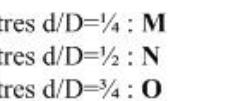
Élargissement brusque :

- rapport des diamètres  $d/D = \frac{1}{4}$  : H
- rapport des diamètres  $d/D = \frac{1}{2}$  : K
- rapport des diamètres  $d/D = \frac{3}{4}$  : L



Rétrécissement brusque :

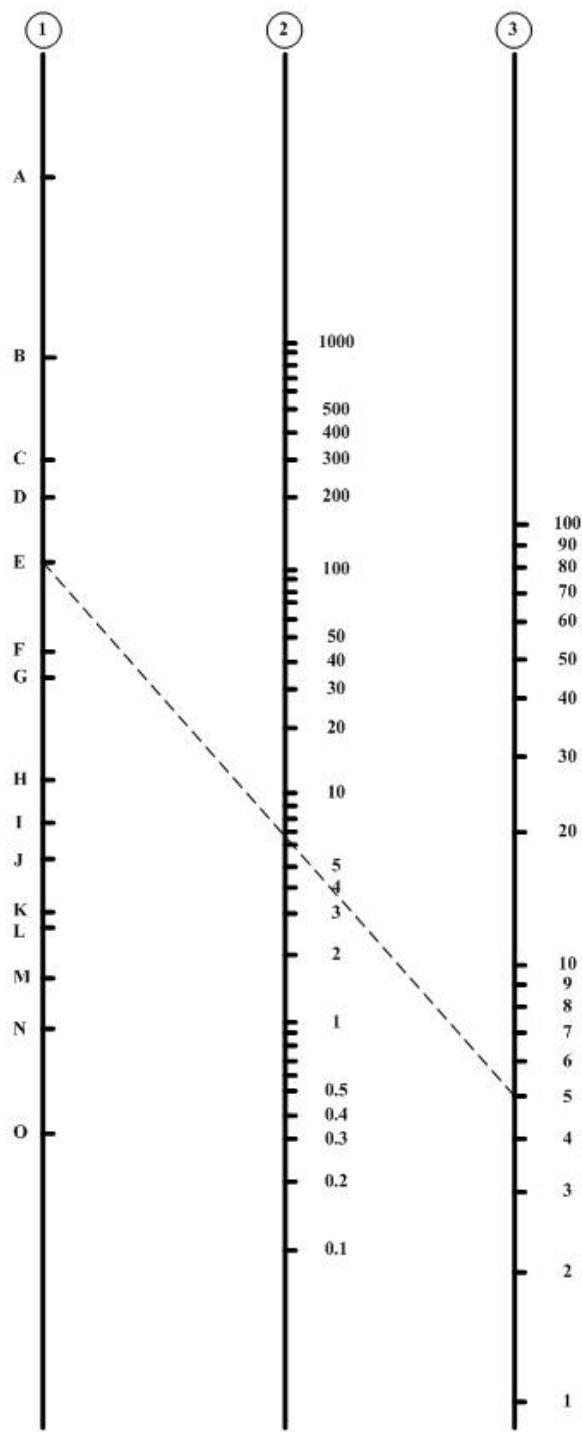
- rapport des diamètres  $d/D = \frac{1}{4}$  : M
- rapport des diamètres  $d/D = \frac{1}{2}$  : N
- rapport des diamètres  $d/D = \frac{3}{4}$  : O



Clapet anti-retour : E

Té : G

Lorsqu'il y a des variations de section (élargissement brusque ou rétrécissement brusque), la longueur équivalente est à rajouter à la portion de plus petit diamètre.



*L<sub>e</sub> en mètres*

*d en centimètres*

# Formulaire Bilan matière

Débit molaire :  $q_n = \frac{q_m}{M}$

$q_n$  = débit molaire en mol/h.

$q_m$  = débit massique g/h.

M = masse molaire en g/mol.

Concentration massique :  $c_m = \frac{m_i}{V_t}$

$C_m$  = concentration massique en g/L.

$m_i$  = masse du soluté i en g.

$V_t$  = volume total de solution.

Titre massique :  $w_i = \frac{m_i}{m_t}$

$w_i$  = titre massique du soluté i.

$m_i$  = masse du soluté i.

$m_t$  = masse totale de solution.

Masse volumique :  $\rho = \frac{m}{V}$

$\rho$  : masse volumique (kg/m<sup>3</sup>).

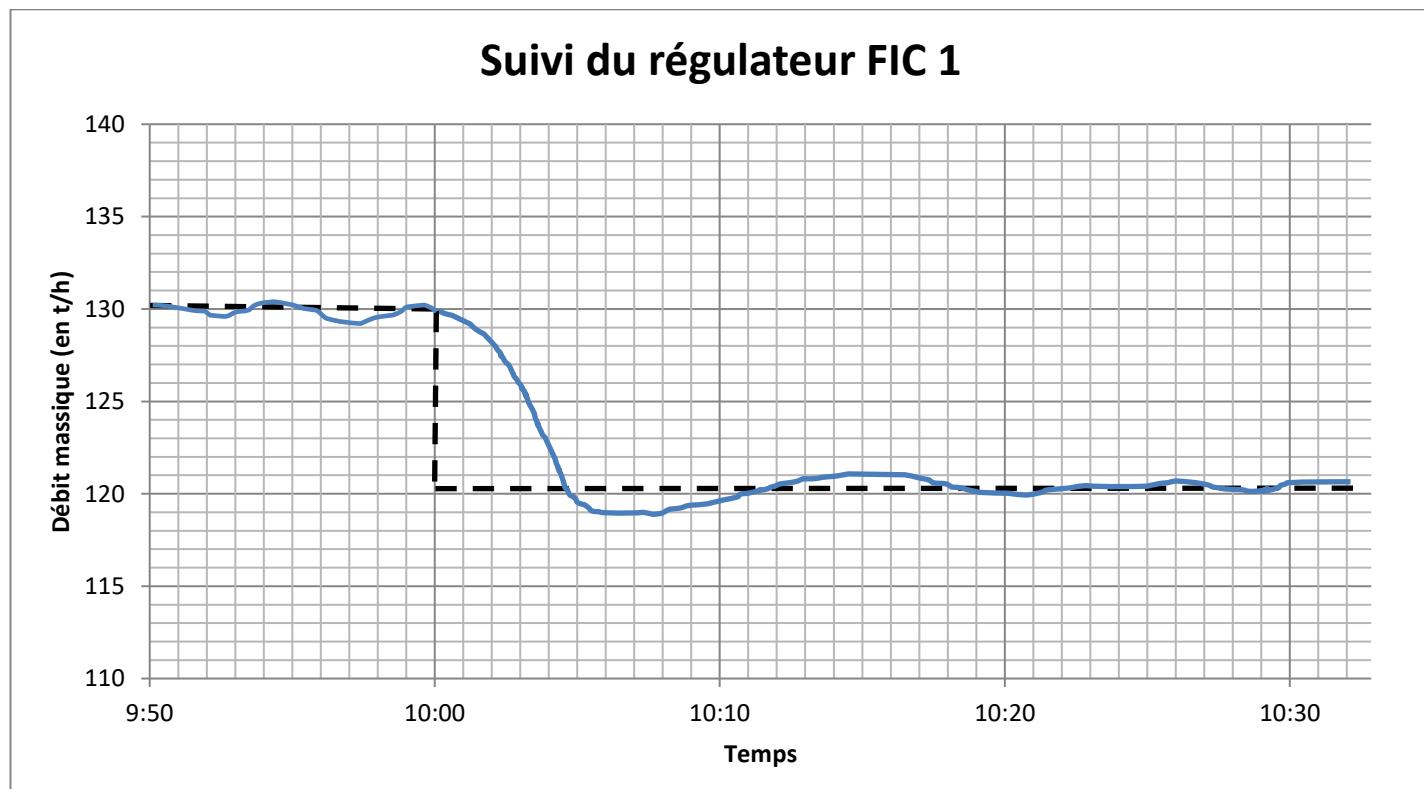
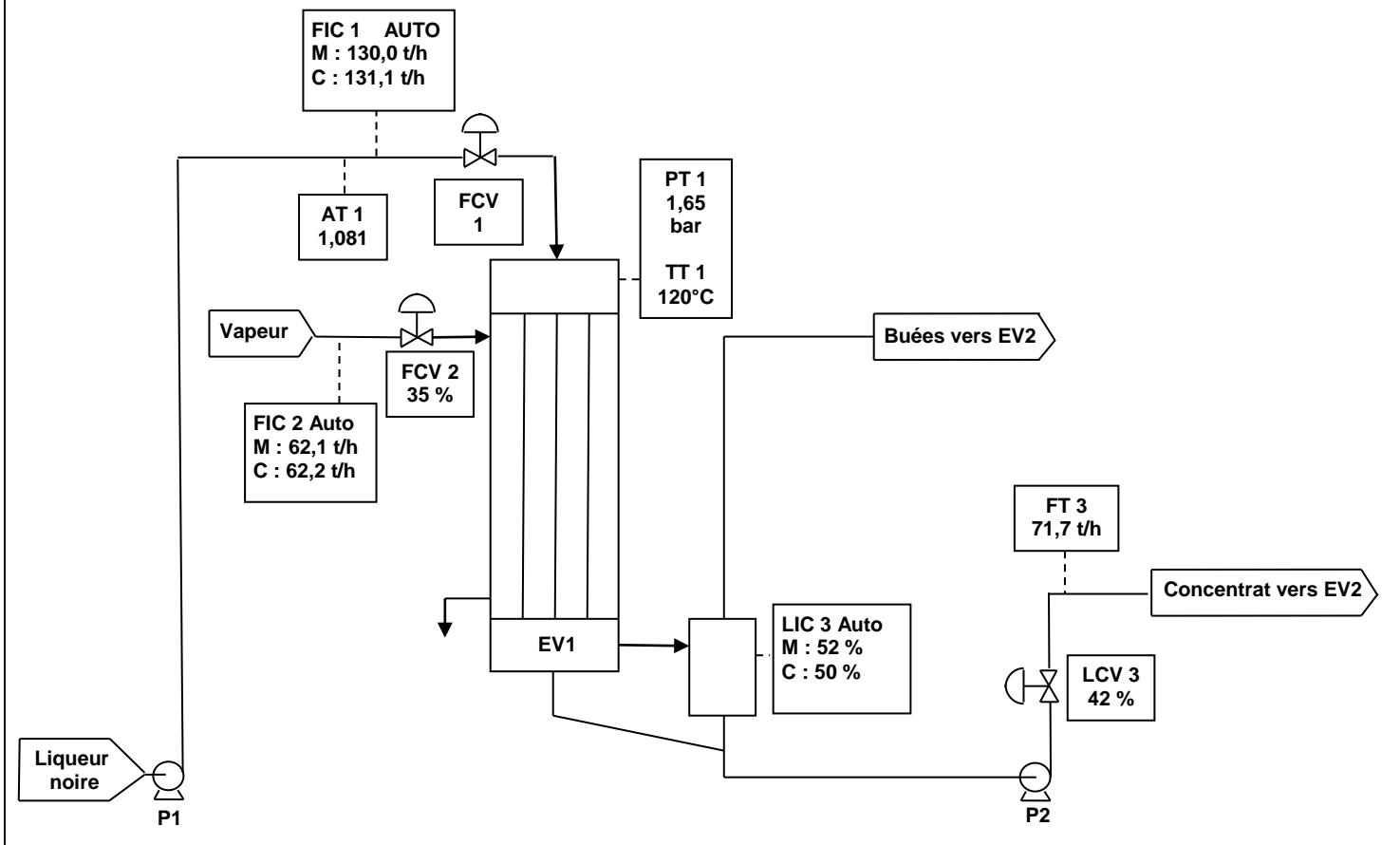
m : masse du produit considéré en kg.

V : volume du produit considéré en m<sup>3</sup>.

## Densité :

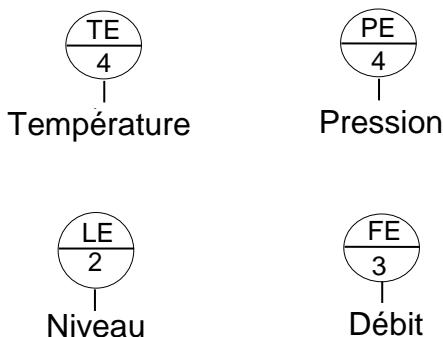
$$d_4^{20} = \frac{\text{masse volumique du corps considéré à } 20 \text{ }^{\circ}\text{C}}{1000}$$

## Synoptique du premier effet EV1 de l'évaporateur à effets multiples S3

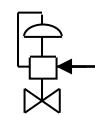


# Norme de représentation des boucles de régulation

## CAPTEURS

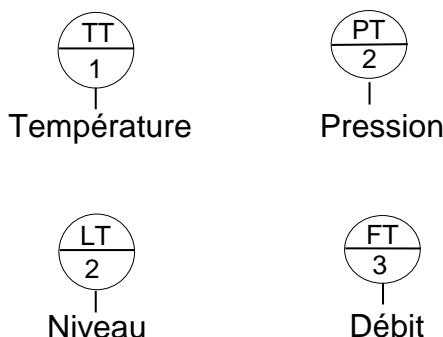


## ORGANES CORRECTEURS

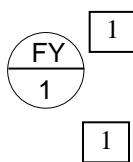


Le chiffre indique le numéro de chaque boucle dans une catégorie de paramètre régulé.

## TRANSMETTEURS

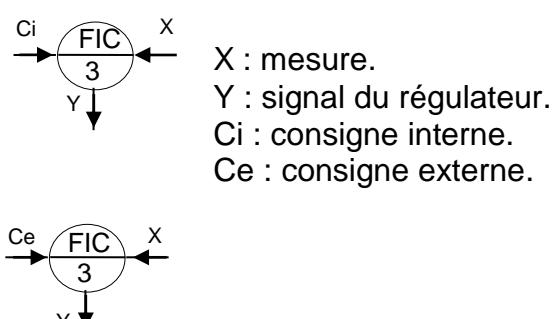


## OPÉRATEURS OU RELAIS DE CALCUL NON PILOTABLES



1 Mention de la fonction :  
Σ : sommateur.  
√ : extracteur de racine.  
% : proportionneur.  
X : multiplicateur.

## RÉGULATEURS



## TYPES DE LIAISONS

Électrique

-----

Numérique



Pneumatique



## Caractéristiques physico-chimiques attendues des liqueurs

Liqueur verte :

Constituant	Concentration massique (g/L)	Titre massique (%)
NaOH	20 à 30	12 à 14
Na <sub>2</sub> S	30	16
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6	2
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	110	70

Liqueur blanche :

Constituant	Concentration massique (g/L)	Titre massique (%)
NaOH	110 à 115	60 à 62
Na <sub>2</sub> S	35 à 40	21 à 23
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2 à 6	2 à 3
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	25 à 30	17 à 20

# Fiche sécurité produit

## HYDROXYDE DE SODIUM

**Formule Chimique :** NaOH

**Synonyme :** Soude

État physique liquide.

Couleur incolore.

Odeur inodore.

Point de fusion/point de congélation 9 °C.

Point d'ébullition ou point initial d'ébullition et intervalle d'ébullition 120 °C à 1,013 hPa Inflammabilité non combustible.

### Étiquetage :

Mention d'avertissement : danger.



GHS05

### Mentions de danger :

H290 peut être corrosif pour les métaux.

H314 provoque de graves brûlures de la peau et de graves lésions.

### Conseils de prudence-prévention :

P280 porter des gants de protection/des vêtements de protection/un équipement de protection des yeux/du visage/des pieds avec des chaussures de sécurité/une protection auditive.

### Premier secours :

#### Notes générales

Enlever immédiatement tout vêtement souillé ou éclaboussé. Autoprotection de la personne qui dispense les premiers soins.

#### Après inhalation

Fournir de l'air frais. En cas de malaise ou en cas de doute, consulter un médecin.

#### Après contact cutané

Après contact avec la peau, se laver immédiatement et abondamment avec beaucoup d'eau. Les brûlures par acide nécessitent des soins médicaux immédiats, faute de quoi elles se cicatrisent très mal.

#### Après contact oculaire

En cas de contact avec les yeux, paupière ouverte rincer immédiatement à l'eau courante 10 à 15 minutes et consulter un ophtalmologiste. Protéger l'œil non blessé.

#### Après ingestion

Rincer la bouche immédiatement et boire beaucoup d'eau. Appeler immédiatement un médecin.

### Mesures de protection individuelle :

Protection des yeux/du visage.

Utilisation des lunettes de protection avec une protection sur les côtés. Porter un équipement de protection du visage.

Porter des gants appropriés. Un gant de protection contre les substances chimiques selon la norme EN 374 est approprié.