



**LE RÉSEAU DE CRÉATION  
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été mis en ligne par le Réseau Canopé  
pour la Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

**Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.**

# BACCALAURÉAT PROFESSIONNEL

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

SESSION 2019

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

#### DOSSIER RESSOURCES

*L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.*

*Aucun autre document n'est autorisé.*

*Le dossier se compose de 13 pages, numérotées de 1/13 à 13/13.  
Dès que le dossier vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.*

<b>DOSSIER RESSOURCES</b>		
BACCALAURÉAT PROFESSIONNEL		
PROCÉDÉS DE LA CHIMIE, DE L'EAU ET DES PAPIERS-CARTONS		
<b>E2</b> Épreuve technologique : Étude d'un procédé	Durée : 4 heures	SESSION 2019
Repère : 1906-PCE-T	Coef : 4	Page 1/13

## SOMMAIRE

<b>1. L'industrie de l'amidon</b>	<b>page 3</b>
<b>2. Du maïs à l'amidon</b>	<b>page 4</b>
<b>3. Schéma de procédé</b>	<b>page 6</b>
<b>4. Description du procédé</b>	<b>page 7</b>
<b>5. Les flux d'eau</b>	<b>page 8</b>
<b>6. La sécurité des silos de stockage du maïs</b>	<b>page 9</b>
<b>7. Tableau des enthalpies massiques de l'eau</b>	<b>page 9</b>
<b>8. Formulaire</b>	<b>page 9</b>
<b>9. Produits toxiques - Définitions des différentes catégories</b>	<b>page 10</b>
<b>10. Fiche sécurité produit</b>	<b>page 11</b>
<b>11. Symbolisation de régulation</b>	<b>page 13</b>

# ÉTUDE D'UNE AMIDONNERIE : FABRICATION D'UN LAIT D'AMIDON À PARTIR DE GRAINS DE MAÏS



Épis de maïs et amidon natif



Grains d'amidon observés au microscope

(Source : site internet l'Union des Syndicats des Industries des Produits Amylacés et de leurs dérivés - USIPA)

## 1. L'industrie de l'amidon

### 1.1 Généralités

La France est le premier producteur européen d'amidon suivie par l'Allemagne et les Pays-Bas. La production d'amidon est un maillon essentiel de la filière alimentaire. 15 000 emplois directs et indirects dépendent de cette activité, sans compter les emplois en amont (secteur agricole en particulier, les amidonneries utilisant quasi exclusivement des céréales françaises). La production française d'amidon est de 3,35 millions de tonnes (2015).

### 1.2 Principales utilisations de l'amidon

L'amidon natif (amidon pur et sec) se présente sous la forme d'une poudre blanche. Il est utilisé dans l'industrie alimentaire comme liant, texturant, dans des sauces, desserts lactés, pâtisseries... C'est également un composé important pour l'industrie papetière. Les amidons modifiés (amidon ayant subi diverses transformations physiques, chimiques ou enzymatiques pour en améliorer les performances) sont utilisés comme agents stabilisants, épaississants, émulsifiants toujours dans l'industrie alimentaire. Ils sont aussi employés comme liants ou adhésifs dans l'industrie du carton.

Les différents amidons sont transformés en de multiples produits tels que le glucose, le dextrose, les malto-dextrines, les caramels colorants, le sorbitol, le mannitol... présents dans les produits alimentaires mais aussi pharmaceutiques (excipients, pelliculage des comprimés) et cosmétiques (dentifrices, crèmes de soins...). La fabrication de bio-éthanol et de bio-plastiques sont aussi d'autres débouchés de l'industrie de l'amidon.

## 2. Du maïs à l'amidon

### 2.1 L'amidonnerie

Dans l'amidonnerie étudiée ici, on extrait l'amidon à partir des grains de maïs (au niveau mondial 75 % de l'amidon est fabriqué à partir du maïs). Les grains reçus contiennent 15 % d'eau, ils ont été préalablement séchés. L'atelier consomme 3 000 tonnes de cette céréale par jour stockées dans des silos dont la capacité de stockage est de 16 jours de production.

Cet atelier fait partie d'un site beaucoup plus important où différentes transformations de l'amidon sont opérées. Ce site a plusieurs certifications parmi lesquelles on peut citer : la certification ISO 9001, la certification ISO 22000 pour la sécurité alimentaire.

### 2.2 Composition du maïs

La composition d'un grain de maïs sec est la suivante en valeurs moyennes :

Amidon	Protéines (gluten de maïs)	Lipides (huile)	Drêches (fibres cellulosiques)	Fraction soluble (acides aminés, sels minéraux)
70 %	5 %	7 %	12 %	6 %

### 2.3 L'amidon

L'amidon est le glucide principal de l'alimentation humaine. C'est une molécule de réserve d'énergie, son utilisation remonte à l'Antiquité. Pour le végétal, il est nécessaire à sa survie, en particulier lors de la mauvaise saison (sèche ou froide) ; il est présent dans de nombreuses variétés comme la pomme de terre, le blé, le maïs, la banane...

L'amidon est un polysaccharide, biopolymère végétal, composé de chaînes de molécules de glucose. Sa formule brute est  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Il est insoluble dans l'eau froide mais il forme une suspension aqueuse appelé lait d'amidon, instable. Ce lait chauffé à 70 °C devient visqueux, on obtient une gélification de la solution.

Les caractéristiques finales de l'amidon natif après séchage sont reportées dans le tableau suivant :

Propriétés	Valeur	Méthode de mesure
Humidité	13 %	Dessication à 130 °C <b>La tolérance admise sur l'humidité est de 0,5 %.</b>
Teneur en protéines	0,35 %	Méthode de Dumas
Teneur en lipides	0,7 %	Extraction à l'hexane au soxlet
Cendres	0,10 %	Pesée après combustion à 900 °C

#### 2.4 La liqueur de maïs aussi dénommée « corn steep »

La liqueur de maïs, co-produit de l'amidonnerie, se compose de la fraction soluble du grain de maïs dissoute dans les eaux de trempage et concentrée par évaporation. Ce co-produit est incorporé aux drêches pour fabriquer un aliment pour ruminants. Il est aussi utilisé par les industries de fermentation (fabrication de pénicilline) de par sa composition en acides aminés.

La liqueur se présente sous la forme d'un liquide épais de couleur brune.

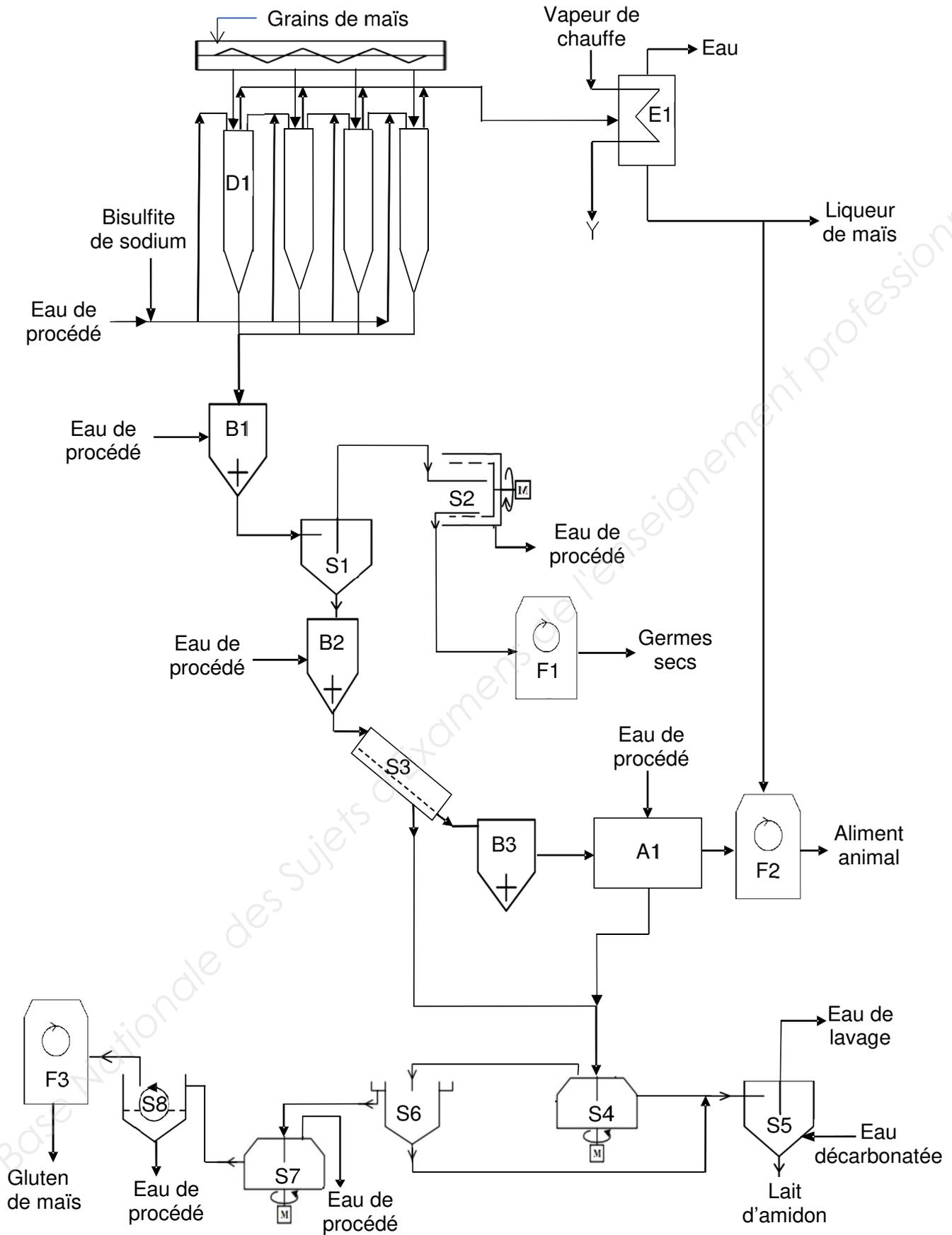
Sa composition garantie appelée spécifications en sortie de l'amidonnerie est la suivante :

Matière sèche (MS)	%	<b>49 ± 0,5</b>
Matière azotée totale	% MS	Supérieur à <b>43</b>
Sucres	% MS	<b>10 ± 1</b>
Cellulose brute	% MS	Inférieur à <b>1,0</b>
Matière grasse	% MS	Inférieur à <b>0,6</b>
Acidité totale (acide lactique)	% MS	<b>23,5 ± 1</b>
Matière minérale	% MS	<b>19,9 ± 1</b>

La matière minérale (exprimée en g par kg de matière sèche totale) contient les minéraux suivants :

Calcium	0,4 g/kg MS
Phosphore	36,7 g/kg MS
Potassium	54 g/kg MS
Sodium	4 g/kg MS
Magnésium	17,3 g/kg MS

### 3. Schéma de procédé



## 4. Description du procédé

Le procédé étudié consiste à séparer les différents constituants du grain de maïs : l'amidon, les protéines (appelées gluten de maïs), les fibres cellulosesques appelées drêches, les fractions solubles et le germe dont est extrait l'huile. Le produit final est l'amidon natif. Tous ces produits sont commercialisés par l'entreprise.

L'amidon de maïs est obtenu par un procédé dit par voie humide dans lequel l'eau est recyclée en circuit fermé, elle est appelée « eau procédé » ; l'addition d'eau douce, décarbonatée est limitée à un point, en fin de production.

### 4.1 Trempage, traitement des composés solubles

Le trempage permet le gonflement des grains afin de permettre la diffusion des composants solubles, acides aminés et sels minéraux essentiellement. L'atelier compte une quinzaine de diffuseurs (**D1**) dans lesquels « l'eau procédé » circule. Le temps de séjour des grains est de 36 heures et la température de 40 °C. Le pH y est maintenu à 4,5 grâce à un apport de bisulfite de sodium ( $\text{NaHSO}_3$ ). Ces conditions favorisent le développement de bactéries lactiques qui prolifèrent très rapidement et éliminent les autres micro-organismes.

L'eau de trempage en sortie des diffuseurs est donc le résultat d'une solubilité et d'une fermentation simultanées de la fraction soluble. Elle est concentrée dans des évaporateurs (**E1**) afin d'augmenter la teneur en matière sèche. Le produit ainsi obtenu, appelé « liqueur de maïs », est en partie stocké et en partie réincorporé dans les drêches, dans le sécheur (**F2**).

### 4.2 Éclatement, dégermage

Les grains ramollis sortis du trempage vont être éclatés afin d'extraire le germe, c'est le dégermage par éclatement. Cette opération a lieu dans des broyeurs à meules (**B1**) qui effectuent un broyage léger : grâce à un écartement suffisant des meules, le germe est gardé intact. « L'eau procédé » introduite au niveau du broyage va entraîner les germes et les grains éclatés qui sont alors séparés dans des cyclones (**S1**), appelés cyclones dégermeurs. L'eau va entraîner l'amidon, les protéines et les drêches vers le bas de l'appareil.

Les germes plus légers sortent par la partie supérieure du cyclone : humides, ils sont essorés dans desessoreuses (**S2**), avant de séjourner dans des sécheurs (**F1**) afin d'éliminer totalement l'eau. Les germes secs sont envoyés vers l'huilerie où est extraite l'huile de maïs, la partie solide restante forme des tourteaux utilisés dans l'alimentation animale.

### 4.3 Broyage, tamisage

À la sortie des cyclones dégermeurs (**S1**), les grains éclatés sont encore constitués de cellulose (drêches), de protéines liquides et d'amidon. Ces grains traversent tout d'abord une série de broyeurs à disques (**B2**) ; un appoint « d'eau procédé » est effectué au niveau du broyage ; il entraîne le mélange obtenu sur des tamis courbes (**S3**) où l'amidon et les protéines sont alors séparés des drêches.

Ces tamis sont constitués d'une grille concave avec trois pentes distinctes qui permettent dans la partie supérieure d'éliminer la quasi-totalité du liquide (amidon et protéines), dans la partie centrale de ralentir les particules solides (drêches) et enfin dans la dernière zone d'égoutter les drêches.

#### 4.4 Traitement des drêches

Les drêches subissent un broyage très fin à l'intérieur de broyeurs à marteaux **(B3)** avant d'être introduites dans des cuves **(A1)** afin d'y subir un lavage à l'eau (c'est toujours de « l'eau procédé » qui est utilisée). Ce lavage a pour but de récupérer les traces d'amidon et de protéines encore présentes.

Les eaux de lavage sont envoyées dans les centrifugeuses **(S4)**.

Les drêches mélangées avec une partie de la « liqueur de maïs » sont finalement séchées dans **(F2)**. On obtient en sortie un aliment pour les animaux.

#### 4.5 Séparation amidon - protéines

À la sortie des tamis courbes **(S3)**, le mélange amidon - protéines est envoyé dans des centrifugeuses **(S4)** afin de séparer ces constituants en utilisant leur différence de densité, les protéines étant moins denses que l'amidon.

#### 4.6 Raffinage et séchage de l'amidon

L'amidon est purifié avec un lavage à contre-courant d'eau douce décarbonatée par passage sur une batterie d'hydrocyclones **(S5)**. On obtient un lait d'amidon qui pourra être séché (non représenté sur le schéma de principe) afin d'obtenir l'amidon natif.

#### 4.7 Concentration et séchage des protéines, obtention du gluten de maïs

En sortie des centrifugeuses **(S4)**, des bacs de flottation **(S6)** affinent la séparation des protéines de l'amidon résiduel qu'elles peuvent encore contenir : grâce à la différence de densité, les protéines flottent tandis que l'amidon décante vers le fond.

Les protéines issues de **(S6)** forment un gâteau après leur passage successif dans des centrifugeuses **(S7)** et sur des filtres rotatifs **(S8)**. À chaque séparation l'eau récupérée est recyclée.

Le gâteau de protéines est séché dans des fours **(F3)**, le produit final est appelé gluten de maïs.

### 5. Les flux d'eau

« Eau procédé » : eau récupérée tout au long du procédé de fabrication et qui est utilisée pour le trempage.

« Eau de trempage » : eau récupérée en fin de trempage contenant la fraction soluble et qui est concentrée par évaporation.

## 6. La sécurité des silos de stockage du maïs

La nomenclature des **ICPE** (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) classe les silos sous la rubrique 2160 qui est ainsi rédigée :

Rubrique n° 2160 - Silos et installations de stockage de céréales, grains, produits alimentaires ou tout produit organique dégageant des poussières inflammables :

- a) Si le volume total de stockage est supérieur à 15 000 m<sup>3</sup>, l'installation est soumise à **autorisation (A)**.
- b) Si le volume total de stockage est supérieur à 5 000 m<sup>3</sup> mais inférieur ou égal à 15 000 m<sup>3</sup>, l'installation est soumise à **déclaration (D)**.

## 7. Tableau des enthalpies massiques de l'eau

Enthalpie massique de la vapeur d'eau en fonction de la température et de la pression		
T (°C)	P (bar)	H (kJ/kg)
160	6,0	2 756
148	4,5	2 744
100	1,0	2 675
80	0,5	2 645
60	0,2	2 610

## 8. Formulaire

$$\text{Taux d'humidité (\%)} = \frac{\text{Masse d'eau}}{\text{Masse totale}} \times 100$$

**Bilan thermique :**

$$Q_V \times H_V + Q_{ET} \times H_{ET} = Q_V \times H_C + Q_E \times H_E + Q_{LM} \times H_{LM}$$

Avec :

Q : débit massique (kg/h)

H : enthalpie massique (kJ/kg)

$$\Phi = K \times S \times \Delta T_{LM}$$

Avec :

Φ : flux thermique (kJ/h)

K : coefficient thermique global (kJ/(h.m<sup>2</sup>.°C))

S : surface d'échange (m<sup>2</sup>)

ΔT<sub>LM</sub> : moyenne logarithmique de différence de températures entre deux fluides (°C)

## 9. Produits toxiques - Définitions des différentes catégories

Selon le règlement CLP (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen les produits toxiques sont classés en quatre catégories en fonction des critères suivants :

<p><b><u>Catégorie 1 :</u></b></p> <p>Au moins une des conditions ci- contre remplies</p>	<p>DL50 orale <math>\leq</math> 5 mg/kg de poids corporel</p> <p>DL50 cutanée <math>\leq</math> 50 mg/kg de poids corporel</p> <p>CL50 inhalation (gaz) <math>\leq</math> 100 ppm</p> <p>CL50 inhalation (vapeur) <math>\leq</math> 0,5 mg/L</p> <p>CL50 inhalation (poussières/brouillard) <math>\leq</math> 0,05 mg/L</p>	 <p>DANGER</p>
<p><b><u>Catégorie 2 :</u></b></p> <p>Au moins une des conditions ci- contre remplies</p>	<p>DL50 orale <math>\leq</math> 50 mg/kg de poids corporel</p> <p>DL50 cutanée <math>\leq</math> 200 mg/kg de poids corporel</p> <p>CL50 inhalation (gaz) <math>\leq</math> 500 ppm</p> <p>CL50 inhalation (vapeur) <math>\leq</math> 2,0 mg/L</p> <p>CL50 inhalation (poussières/brouillard) <math>\leq</math> 0,5 mg/L</p>	 <p>DANGER</p>
<p><b><u>Catégorie 3 :</u></b></p> <p>Au moins une des conditions ci- contre remplies</p>	<p>DL50 orale <math>\leq</math> 300 mg/kg de poids corporel</p> <p>DL50 cutanée <math>\leq</math> 1 000 mg/kg de poids corporel</p> <p>CL50 inhalation (gaz) <math>\leq</math> 2 500 ppm</p> <p>CL50 inhalation (vapeur) <math>\leq</math> 10,0 mg/L</p> <p>CL50 inhalation (poussières/brouillard) <math>\leq</math> 1 mg/L</p>	 <p>DANGER</p>
<p><b><u>Catégorie 4 :</u></b></p> <p>Au moins une des conditions ci- contre remplies</p>	<p>DL50 orale <math>\leq</math> 2 000 mg/kg de poids corporel</p> <p>DL50 cutanée <math>\leq</math> 2 000 mg/kg de poids corporel</p> <p>CL50 inhalation (gaz) <math>\leq</math> 20 000 ppm</p> <p>CL50 inhalation (vapeur) <math>\leq</math> 20 mg/L</p> <p>CL50 inhalation (poussières/brouillard) <math>\leq</math> 5 mg/L</p>	 <p>ATTENTION</p>

DL50 : dose létale pour 50 % d'une espèce animale

CL50 : concentration létale pour 50 % d'une espèce animale

## 10. Fiche sécurité produit

### BISULFITE DE SODIUM SOLUTION 40 %

<b>Formule chimique :</b>	<b>NaHSO<sub>3</sub></b>	
<b>Synonyme :</b>	Sodium hydrogénosulfite	
<b>Propriétés physiques :</b>	Solubilité dans l'eau	390 g/L à 16 °C
	pH	4,3 à 10 g/L

<b>Risques :</b>	H302 Nocif en cas d'ingestion. EUH031 Au contact d'un acide dégage un gaz toxique.
<b>Conseils de sécurité :</b>	<b>P264</b> Se laver soigneusement les mains après manipulation. <b>P270</b> Ne pas manger, boire en manipulant ce produit.
<b>Premiers secours</b>	<b>Conseils généraux</b> Consulter un médecin. Montrer cette fiche de données de sécurité au médecin traitant. <b>En cas d'inhalation</b> , transporter la personne hors de la zone contaminée. En cas d'arrêt respiratoire, pratiquer la respiration artificielle. Consulter un médecin. <b>En cas de contact avec la peau</b> , laver au savon avec une grande quantité d'eau. Consulter un médecin. <b>En cas de contact avec les yeux</b> , rincer les yeux à l'eau par mesure de précaution. <b>En cas d'ingestion</b> , ne jamais rien faire avaler à une personne inconsciente. Se rincer la bouche à l'eau. Consulter un médecin.
<b>Mesures de lutte contre l'incendie</b>	Non combustible, moyens d'extinction : adapter en fonction des produits environnants. Dangers particuliers : en cas d'incendie du dioxyde de soufre SO <sub>2</sub> peut se former.
<b>Mesures environnementales, en cas de dispersion accidentelle</b>	Contenir et recueillir avec un matériau absorbant non combustible. Empêcher le produit de pénétrer dans les égouts. Nettoyer avec un détergent, éviter l'utilisation de solvants. Neutraliser avec des lessives alcalines ou de la chaux.
<b>Manipulation et stockage</b>	Éviter le contact avec la peau et les yeux. Entreposer dans un endroit frais. Tenir le récipient bien fermé dans un endroit sec et bien aéré. Ne pas entreposer près des acides.

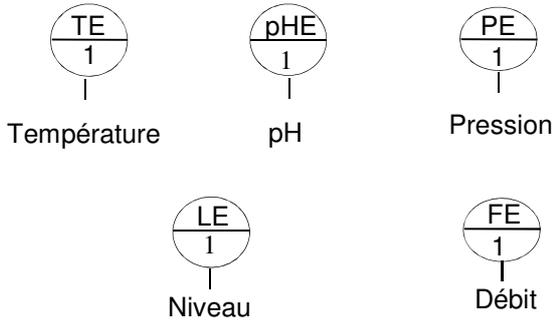
<b>Informations toxicologiques et d'exposition</b>	DL50 orale (rat) VLEP moyen terme	1450 mg/kg 5 mg/m <sup>3</sup>
--	--------------------------------------	-----------------------------------

VLEP : valeur limite d'exposition professionnelle

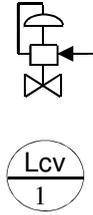
<b>Équipements de protection individuelle</b>	<p>Pictogrammes d'obligation du port d'équipements de protection individuelle (EPI) :</p>  <p><b>Protection des yeux / du visage</b> Utiliser des protections oculaires conçues contre les projections de liquide. Avant toute manipulation, il est nécessaire de porter des lunettes de sécurité conformes à la norme NF EN166.</p> <p><b>Protection des mains</b> Porter des gants de protection appropriés en cas de contact prolongé ou répété avec la peau. Utiliser des gants de protection appropriés résistants aux agents chimiques conformes à la norme NF EN374. Les gants de protection doivent être choisis en fonction du poste de travail : autres produits chimiques pouvant être manipulés, Type de gants conseillés : - Latex naturel - Caoutchouc Nitrile - PVC (Polychlorure de vinyle) - Caoutchouc Butyle Caractéristiques recommandées : - Gants imperméables conformes à la norme NF EN374</p> <p><b>Protection du corps</b> Le personnel portera un vêtement de travail régulièrement lavé. Après contact avec le produit, toutes les parties du corps souillées devront être lavées.</p>
<b>Traitement des déchets et des emballages souillés</b>	<p>Ne pas déverser dans les égouts ni dans les cours d'eau.</p> <p><b>Déchets :</b> La gestion des déchets se fait sans mettre en danger la santé humaine et sans nuire à l'environnement, et notamment sans créer de risque pour l'eau, l'air, le sol, la faune ou la flore. Recycler ou éliminer conformément aux législations en vigueur, de préférence par un collecteur ou une entreprise agréée. Ne pas contaminer le sol ou l'eau avec des déchets, ne pas procéder à leur élimination dans l'environnement.</p> <p><b>Emballages souillés :</b> Vider complètement le récipient. Conserver l'étiquette sur le récipient. Remettre à un éliminateur agréé.</p>

# 11. Symbolisation de régulation

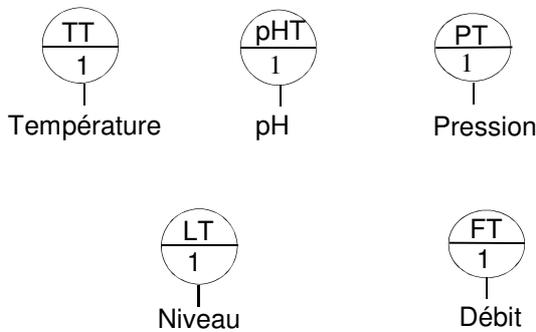
## CAPTEURS



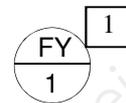
## ORGANES CORRECTEURS



## TRANSMETTEURS



## OPÉRATEURS OU RELAIS DE CALCUL NON PILOTABLES



Mention de la fonction :

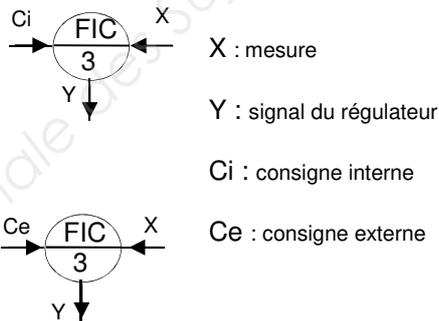
$\Sigma$  : Sommateur

$\sqrt{\quad}$  : Extracteur de racine

% : Proportionneur

X : multiplicateur

## RÉGULATEURS



## TYPES DE LIAISONS

Électrique

.....

Numérique

—●—●—●—●—●—

Pneumatique

—//—//—//—//—

**Remarque** : le chiffre indique le numéro de la boucle.