

# CORRIGE

**Ces éléments de correction n'ont qu'une valeur indicative. Ils ne peuvent en aucun cas engager la responsabilité des autorités académiques, chaque jury est souverain.**

# E2 : ÉPREUVE TECHNOLOGIQUE

## ÉTUDE DE FABRICATION

### *CORRIGE*

## FABRICATION D'UN REPAS COMPLET POUR CHIEN

Avec huit millions de chiens et neuf millions de chats en France, le marché des aliments pour ces animaux est très important. L'industrie des aliments pour animaux de compagnie constitue un puissant moteur pour l'agriculture et l'élevage français, favorisant l'utilisation de produits qui ne seraient pas consommés par l'homme.

### Description du procédé de fabrication d'un repas complet pour chien

Le procédé de fabrication comprend trois grandes parties : la préparation des farines, la cuisson extrusion et le conditionnement.

Après avoir été pesées, les différentes matières premières (farine de viande – levure de bière – pulpe de betteraves – céréales) sont pré - mélangées dans un mélangeur à vis puis broyées dans un broyeur à marteaux. À l'issue de cette opération on obtient des particules dont le diamètre moyen est de 0,5 mm. Les farines obtenues sont ensuite tamisées, les particules dont le diamètre est supérieur à 1 mm retournent dans le broyeur. Les farines passent dans un mélangeur à double ruban qui permet d'incorporer des substances minérales, des vitamines, ainsi que de l'huile de soja. Les mélanges ainsi obtenus sont stockés dans des silos sur pesons afin de contrôler le débit au niveau du cuiseur-extrudeur.

Le passage dans un cuiseur-extrudeur permet d'obtenir des croquettes de viande encore humides qui devront être séchées sur lit fluidisé. Elles sont ensuite arrosées de graisse et enrobées dans une cuve de mélange dont l'agitation est assurée par une vis. Les croquettes sortent à une température de 75 °C et sont refroidies à 30 °C par passage sur un autre système à lit fluidisé, puis stockées.

Pour finir, les croquettes sont mélangées sur un tapis avec des matières premières auxiliaires déshydratées (riz, carottes, poireaux, flocons de maïs) stockées dans un silo voisin. Le mélange obtenu est ensuite conditionné sous atmosphère modifiée en sachets de 500 g sur lesquels sont imprimées les informations liées à la traçabilité et à la durée de conservation.

<b>BACCALAURÉAT PROFESSIONNEL</b>		
<b>BIO-INDUSTRIES DE TRANSFORMATION</b>		
<b>Session 2008</b>		

<b>CORRIGÉ</b>	<b>E2 - Étude de fabrication</b>
Coefficient : 5	Durée : 4 h 00
Repère : 0806-BIOT-COR	Ce corrigé comporte 14 pages
	Page 1/14

# PARTIE 1 : GÉNIE INDUSTRIEL ET GÉNIE DES PROCÉDÉS

## (50 points)

### 1. Étude du procédé (20 points)

- 1.1. Compléter le schéma de principe figurant en annexe 1 en indiquant les différentes opérations unitaires. (5,5 points)
- 1.2. Après pesée les différentes matières premières sont broyées dans un broyeur à marteaux.
- 1.2.1. Enoncer les objectifs de l'opération de broyage. (1 point)  
*L'opération de broyage a pour objectif de réduire et d'homogénéiser la taille des produits, et d'augmenter la surface d'échange en vue de faciliter les opérations de mélange.*
- 1.2.2. Légender le schéma du broyeur à marteaux présenté en annexe 3. (1 point)
- 1.3. Après broyage les farines sont tamisées.
- 1.3.1. Préciser les objectifs de l'opération de tamisage. (1 point)  
*Le tamisage permet de séparer les solides en fonction de leur granulométrie.*
- 1.3.2. Citer un appareil permettant de réaliser cette opération et expliquer son fonctionnement. (2 points)  
*Tamis vibrant : la poudre est amenée sur une grille en mouvement et les grains sont séparés selon leur taille. Les grains dont la taille est supérieure au diamètre des mailles du tamis sont retenus.*
- 1.3.3. Définir les termes de refus et de passant. (1 point)  
*Refus : Poudres dont la granulométrie est supérieure à la taille du tamis.  
Passant : Poudres dont la granulométrie est inférieure à la taille du tamis.*
- 1.4. Les farines tamisées et additionnées de vitamines, minéraux et graisses sont envoyées vers un cuiseur-extrudeur.
- 1.4.1. Indiquer l'objectif de la cuisson extrusion. (1 point)  
*Fabriquer un produit cuit, sec, et divisé en fractions légères, avec une DLUO longue dans le temps.*
- 1.4.2. Décrire avec précision cette opération. (1 point)  
*La cuisson extrusion consiste à faire subir en continu, à des matières premières généralement hydratées, un traitement mécanique (cisaillement combiné à une compression, un mélange et une détente) combiné à un traitement thermique (cuisson + refroidissement) durant un temps déterminé.  
Les matières premières sont dans un premier temps mélangées, cisillées et transformées en pâte par rotation rapide d'une vis d'Archimède à l'intérieur d'un fourreau. Elles sont ensuite cuites par apport externe de chaleur puis enfin compactées progressivement par forçage au travers de filières (éléments imposant une restriction à l'écoulement). Le passage au travers des filières s'accompagne d'une brusque décompression provoquant l'expansion du produit.*

1.5. Au sortir du cuiseur-extrudeur le séchage de croquettes se fait par passage dans un sécheur à lit fluidisé continu.

1.5.1. Citer trois paramètres qui peuvent influencer la vitesse d'un séchage.  
(3 × 0,5 point = 1,5 point)

*Température / humidité relative / surface d'échange*

1.5.2. Citer quatre techniques de séchage destinées à la production de substances sèches.  
(4 × 0,5 = 2 points)

*Atomisation / lit fluidisé / étuve ventilée / sécheur tambour / micro ondes / lyophilisation...*

1.5.3. Légender le schéma du sécheur à lit fluidisé en annexe 2. (2 points)

1.5.4. Présenter quatre avantages du séchage sur lit fluidisé. (4 × 0,25 = 1 point)

*Rapidité du séchage*

*Surface de séchage élevée*

*Ventilation importante*

*Possibilité de travailler à température basse*

*Individualisation des grains*

*Possibilité séchage en continu...*

## **2. Bilan matière (10 points)**

Les croquettes humides sont déshydratées dans un sécheur sur lit fluidisé. À partir des renseignements portés sur l'annexe 4 :

2.1. Calculer la masse d'eau retirée aux croquettes en 1 heure (1 point).

$$20\,500 - 20\,000 = 500 \text{ kg d'eau/h.}$$

2.2. Calculer le débit massique  $Q_{m2}$  de croquettes déshydratées.

(1,5 point (formule) + 1,5 point (résultat) = 3 points)

$$\text{Bilan global : } C = S + E$$

$$S = C - E$$

$$S = 5 - 0,5 = 4,5 \text{ t.h}^{-1}$$

2.3. Calculer le pourcentage de matière sèche  $MS_2$  des croquettes déshydratées.

(1,5 point (formule) + 1,5 point (résultat) = 3 points)

$$\text{Dans } C : MS_1 = 100 \% - 15 \% = 85 \%$$

$$\text{Bilan en MS : } C \times MS_1 = S \times MS_2$$

$$MS_2 = \frac{C \times MS_1}{S}$$

$$MS_2 = \frac{5 \times 0,85}{4,5} = 94,4 \%$$

2.4. Calculer la teneur en eau  $n_s$  de l'air sortant. (1,5 (formule) + 1,5 (résultat) = 3 points)

$$\text{Bilan en eau dans l'air : } A \times n_e + E = A \times n_s$$

$$n_s = n_e + \frac{E}{A}$$

$$n_s = 9 + \frac{500}{20000} \times 10^3 = 9 + 25 = 34 \text{ g eau.kg}^{-1} \text{ air sec}$$

*Faire figurer les calculs sur la copie.*

2.5. Récapituler les résultats sur l'annexe 4 (à rendre avec la copie).

### 3. Bilan énergétique. (10 points)

Réalisée par induction dans l'extrudeur, la cuisson provoque l'échauffement et la vaporisation de l'eau du produit.

#### Données :

- Masse volumique l'eau :  $\rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ .
- Capacité thermique massique de l'eau :  $c = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{° C}^{-1}$ .
- Capacité thermique massique de la vapeur d'eau :  $c = 1,9 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{° C}^{-1}$
- Chaleur latente de vaporisation de l'eau :  $L_v = 2\,200 \text{ kJ.kg}^{-1}$ .

$$Q = nc\Delta t^\circ$$

$$Q = m.L$$

- 3.1. Le débit volumique d'eau éliminée est de  $150 \text{ L.h}^{-1}$ . Déterminer le débit massique de l'eau en  $\text{kg.s}^{-1}$ . (1,5 (formule) + 1,5 (résultat) = 3 points)

$$q_m = \rho \times q_v$$

$$q_m = \frac{10^3 \times 0,150}{3600} = 0,04167 \text{ kg.s}^{-1}$$

- 3.2. Le système de chauffage porte la température du mélange de croquettes de  $20^\circ \text{ C}$  à  $120^\circ \text{ C}$ . Calculer la puissance thermique totale utile au chauffage et à la vaporisation de l'eau. (1 pt (formule) + 3 pts (1 point par résultat intermédiaire) + 1 pt (résultat global) = 5 points)

$$Q_1 = 0,041 \times 4,18 \times 80 \text{ kJ/s}$$

$$Q_2 = 0,041 \times 2\,200 \text{ kJ/s}$$

$$Q_3 = 0,041 \times 1,9 \times 20 \text{ kJ/s}$$

$$Q_{\text{total}} = 105,46 \text{ kJ/s}$$

$$P_{\text{utile}} = 105,5 \text{ kW}$$

- 3.3. Le rendement global de l'installation de chauffage par induction est de 90 %. Déduire la puissance électrique totale absorbée. (1 pt (formule) + 1 pt (résultat) = 2 points)

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad P_a > P_u$$

$$P_a = \frac{P_u}{\eta}$$

$$P_a = 117,22 \text{ kW}$$

### 4. Automatisation (10 points)

Un mélange de croquettes et de carottes est réalisé de manière automatique.

La station automatisée de mélange fonctionne dans les conditions décrites en annexe 5.

À partir des informations fournies, compléter le GRAFCET de la station automatisée de mélange en annexe 6.

## PARTIE 2 : SCIENCES ET TECHNIQUES DES BIO-INDUSTRIES

(50 points)

### 1. Étude des matières premières (14 points)

La formulation des croquettes comprend entre autres des céréales, de la farine de viande, de la levure de bière et de la pulpe de betteraves.

#### 1.1. Les céréales

1.1.1. Préciser le nom de la principale protéine du blé. (1 point)

*Le gluten*

1.1.2. Le blé contient de l'amidon : présenter sa principale propriété technologique. (1 point)

*L'amidon lorsqu'il est chauffé en présence d'eau forme un empois.*

1.1.3. Le blé contient aussi des lipides et des protéines : expliquer comment ces composants réagissent avec l'amidon. (1 point)

*Avec le gluten et les lipides du blé cet empois forme une pâte souple, élastique et imperméable.*

1.1.4. Indiquer deux autres composants biochimiques du blé. (1 point)

*Les éléments minéraux, les fibres, l'eau...*

1.2. La viande constitue une part importante du repas complet pour chien, elle apporte notamment la majeure partie des protéines nécessaires dans la ration alimentaire.

1.2.1. Citer les trois principales protéines du muscle et indiquer celle qui influence directement la tendreté de la viande. (1,5 point + 1 point)

*Actine – Myosine – Collagène*

*Le collagène est la protéine dont la présence influence directement la tendreté.*

1.2.2. Citer dans l'ordre chronologique les trois phases de l'évolution du muscle en viande et en expliquer une. (1,5 point + 1 point)

*- Phase de pantelance : immédiatement après abattage. Le muscle est souple, il y a présence d'ATP dans le muscle qui se contracte et se relâche spontanément. Le pouvoir de rétention d'eau est maximal. La viande ne présente aucune caractéristique organoleptique.*

*- Phase de rigor mortis : stabilisation du pH à une valeur caractéristique de 5,6 à 5,8. Le muscle est raide et non mobilisable, à la dégustation, la viande est dure, coriace, la saveur reste peu marquée. Le pouvoir de rétention d'eau est minimal car les protéines sont à leur pHi et les myofibrilles resserrées.*

*- Phase de maturation : relâchement du muscle par destruction enzymatique de sarcomères au niveau de la strie Z – Remontée du pH apparition de la tendreté et de la saveur.*

1.3. La levure de bière est produite en quantité industrielle par fermentation.

1.3.1. Donner le nom scientifique de la levure de bière. (1 point)

*Saccharomyces cerevisiae*

1.3.2. Nommer la fermentation réalisée par la levure de bière et en écrire l'équation chimique globale. (1 point + 1 point)

*Fermentation alcoolique*

*$C_6H_{12}O_6 + 2 A.D.P + 2 P_i \text{-----} > H_3C-CH_2-OH + 2CO_2 + 2A.T.P.$*

- 1.4. La pulpe de betterave utilisée dans la fabrication doit être débarrassée du sucre.  
Pour cela, les betteraves sont découpées et mises à tremper dans de l'eau chaude.
- 1.4.1. Nommer et expliquer le phénomène physique qui permet le passage du sucre dans l'eau.  
(2 points)  
*Le sucre passe dans l'eau par diffusion, on obtient un jus sucré et de la pulpe de betteraves sans sucre. Cette diffusion est due à une différence de pression osmotique.*

## **2. Étude des opérations de transformation (26 points)**

L'opération de cuisson extrusion associe texturation - cuisson - déshydratation - destruction microbienne et mise en forme du produit.

- 2.1. Définir la « texturation ». (2 points)  
*La texturation concerne toutes les opérations qui visent au changement de la texture d'un produit en agissant sur la conformation des molécules (protéines, glucides, lipides, ...). Les opérations de texturation se traduisent par un changement du produit en terme de perception visuelle, au toucher, à la mastication et à l'ouïe.*
- 2.2. Expliquer les changements physiques subis par le produit pendant l'opération de cuisson - extrusion. (2 points)  
*Le produit pulvérulent au départ passe à l'état de pâte qui sous l'action de la température et de la variation de pression perd son eau et s'expande pour donner une texture solide alvéolée.*
- 2.3. Indiquer les conséquences de la cuisson d'un produit sur les protéines, les lipides et les glucides le composant. (3 points)  
- *Coagulation des protéines*  
- *Gélatinisation de l'amidon et/ou caramélisation des sucres*  
- *Fusion des matières grasses*
- 2.4. Citer les paramètres d'un barème de traitement thermique. (2 points)  
*Barème de traitement thermique correspond à combinaison Température (1 point) / Temps (1 point) qui assure la qualité sanitaire du produit (impératif) sans trop détériorer les qualités organoleptiques set nutritionnelles.*
- 2.5. À l'issue de la cuisson - extrusion, le produit présente une structure alvéolée. Expliquer pourquoi. (2 points)  
*La déshydratation a lieu au moment du retour à pression atmosphérique à la sortie du cuiseur. L'eau sous forme liquide à haute température et à haute pression est transformée instantanément en vapeur lors de la détente, ce qui génère la structure alvéolée.*
- 2.6. Les opérations de cuisson et de séchage entraînent une évolution de la couleur du produit.
- 2.6.1. Donner le nom de la réaction responsable de cette évolution. (1 point)  
*Réaction de Maillard ou BNE*
- 2.6.2. Citer trois conséquences de cette réaction sur le produit. (3 points)  
- *Changement de couleur : Brunissement*  
- *Changement d'odeur et de goût*  
- *Déshydratation*  
*On peut ajouter : perte de valeur nutritionnelle - production de composés de type « Furfural ».*

- 2.6.3. Indiquer deux moyens de prévention. (3 points)
- Diminution du pH
  - Température de cuisson plus basse
  - Durée de cuisson moins longue...
- 2.7. Différencier Aw et teneur totale en eau en %. (2 points)  
*L'Aw correspond à l'eau disponible pour les réactions biochimiques et les micro-organismes (Eau libre et eau faiblement liée) alors que la teneur totale en eau en % traduit toute l'eau contenue dans le produit.*
- 2.8. Justifier la baisse de l'activité de l'eau liée à l'opération de séchage. (2 points)  
*L'eau éliminée sous forme de vapeur est l'eau libre et l'eau faiblement liée. Seule reste au niveau du produit l'eau liée, l'Aw est ainsi diminuée.*
- 2.9. Les croquettes sont conditionnées en sachets sous atmosphère modifiée.
- 2.9.1. Donner les objectifs du conditionnement sous atmosphère modifiée. (2 points)  
*Limiter les réactions physico-chimiques de dégradation ainsi que le développement microbien.*
- 2.9.2. Indiquer deux avantages et deux inconvénients de ce conditionnement. (2 points)  
*Avantages : ce procédé permet de prolonger la durée de vie du produit et de préserver ses qualités nutritionnelles et organoleptiques.*  
*Inconvénients : coût élevé – matériel relativement complexe – sachets spécifiques – Perte de l'atmosphère modifiée lors de l'ouverture du sachet.*

### **3. Le contrôle qualité et l'étiquetage (10 points)**

- 3.1. Après l'opération de broyage une analyse granulométrique est pratiquée pour vérifier la qualité du broyage.
- 3.1.1. Présenter une méthode d'analyse granulométrique. (2 points)  
*Utilisation d'un tamiseur de laboratoire comprenant une colonne de tamis de diamètre décroissant de bas en haut. Après agitation (mise en vibration) durant un temps déterminé les passants au niveau de chaque tamis sont pesés et cumulés puis reportés sur une courbe.*
- 3.1.2. À partir de la courbe granulométrique présentée en annexe 7 et sachant que la maille nominale est de 0,5 mm, positionner et déterminer le pourcentage de total tamisable (ensemble des particules < 0,5 mm) (1 point).  
*On se positionne à 0,5 sur l'axe des abscisses, on remonte sur la courbe puis on lit la valeur sur l'axe des ordonnées : Total tamisable = 86 %.*
- 3.2. Proposer et justifier trois autres contrôles à réaliser sur le produit fini. (3 points)
- contrôle d'humidité très liée à la durée de conservation
  - contrôle de masse des sachets
  - contrôle de l'étanchéité des sacs : conservation de l'atmosphère
  - contrôle du mélange gazeux : durée de conservation
  - contrôles de friabilité/dureté /tendreté : aptitude des croquettes à être consommées par les chiens.



3.3. Définir les sigles DLUO et DLC. (2 points)

*DLUO = Date Limite d'Utilisation Optimale : mention apposée sur les produits ne présentant pas de risques de développement de micro-organismes. Date au-delà de laquelle, le fabricant ne garantit plus les qualités organoleptiques.*

*DLC = Date Limite de Consommation : mention apposée sur les produits présentant un risque de développement de micro-organismes. Date au-delà de laquelle le produit est inconsommable.*

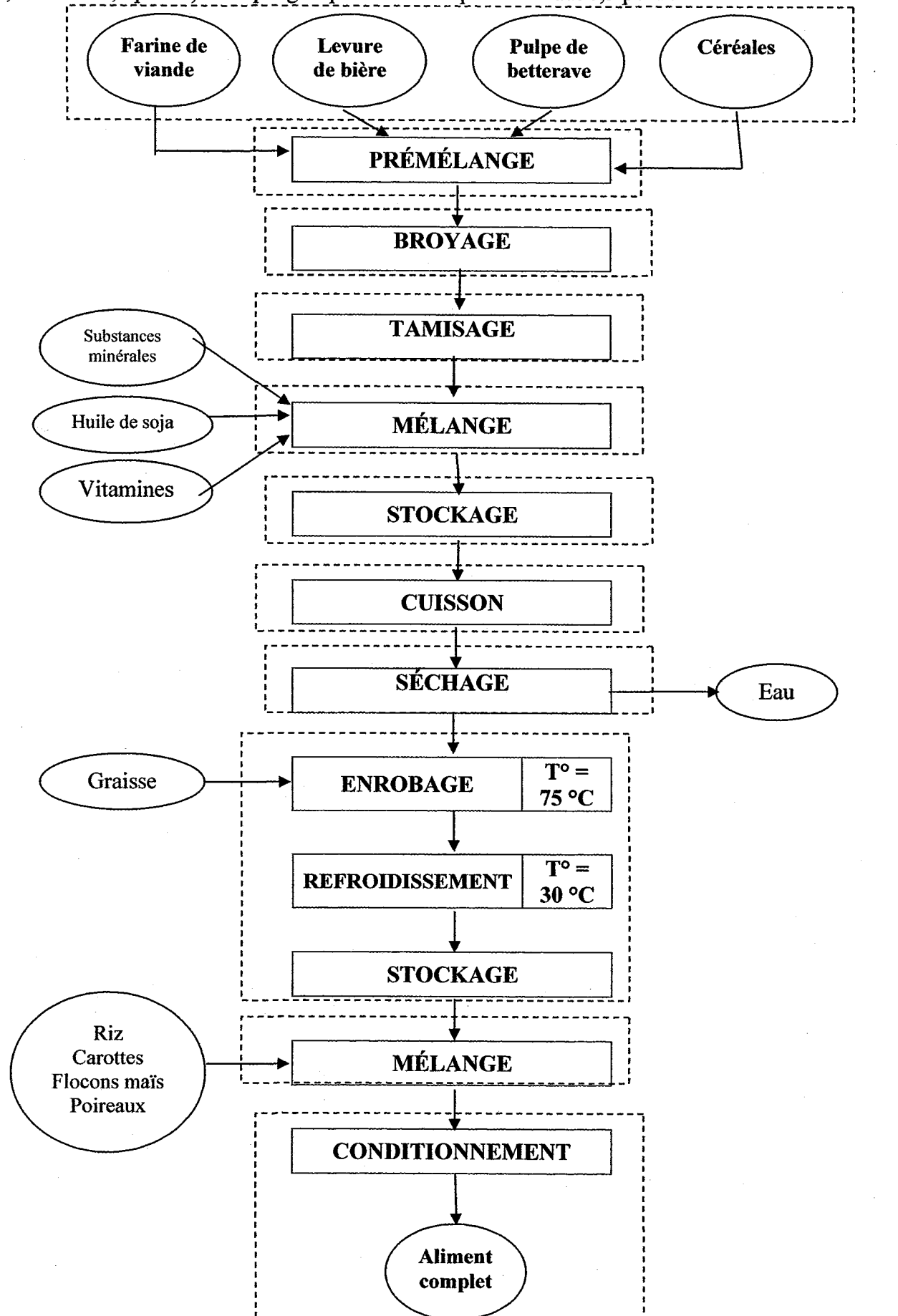
3.4. Justifier l'application d'une DLUO à ce produit. (1 point)

*Produit sec ne pouvant pas subir de contaminations présentant un danger sanitaire en raison de l'Aw très basse.*

3.5. La réglementation a rendu obligatoire la traçabilité : citer le moyen utilisé pour assurer la traçabilité d'un produit. (1 point)

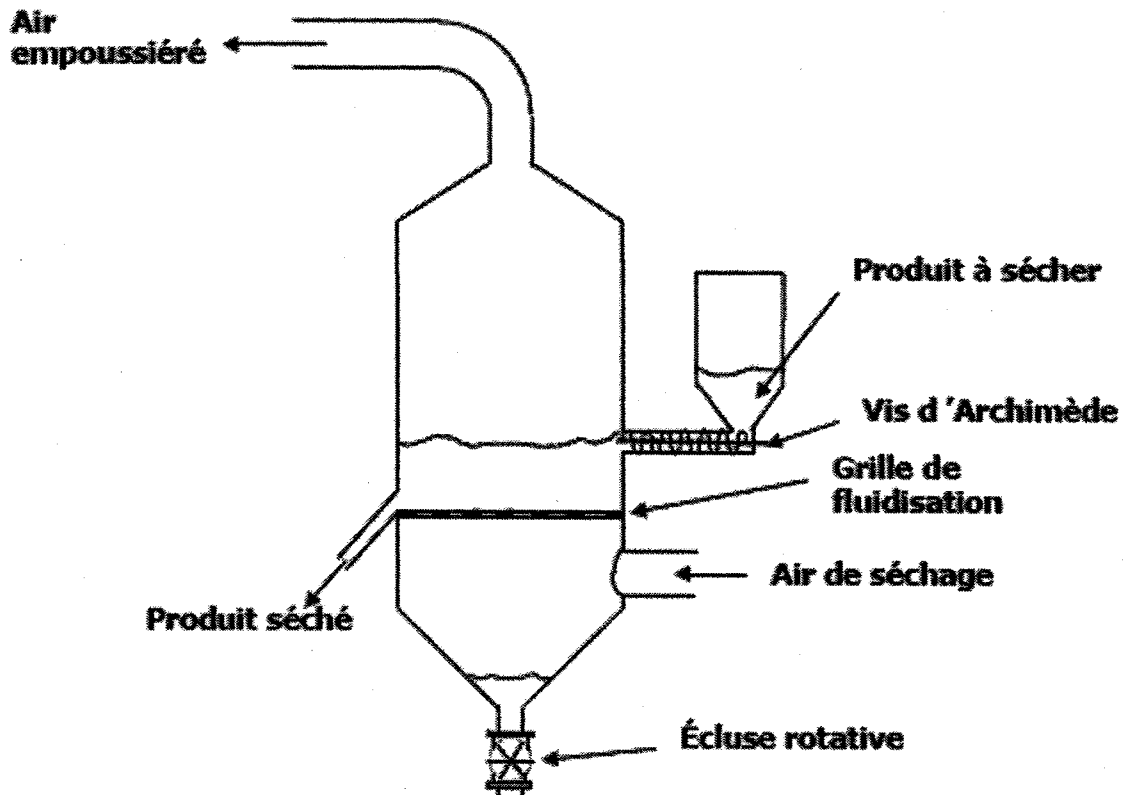
*Le numéro de lot.*

**ANNEXE 1 : DIAGRAMME DE FABRICATION D'UN REPAS COMPLET POUR CHIEN**  
 (0,5 × 11 = 5,5 points). Chaque groupe entouré en pointillé vaut 0,5 point.



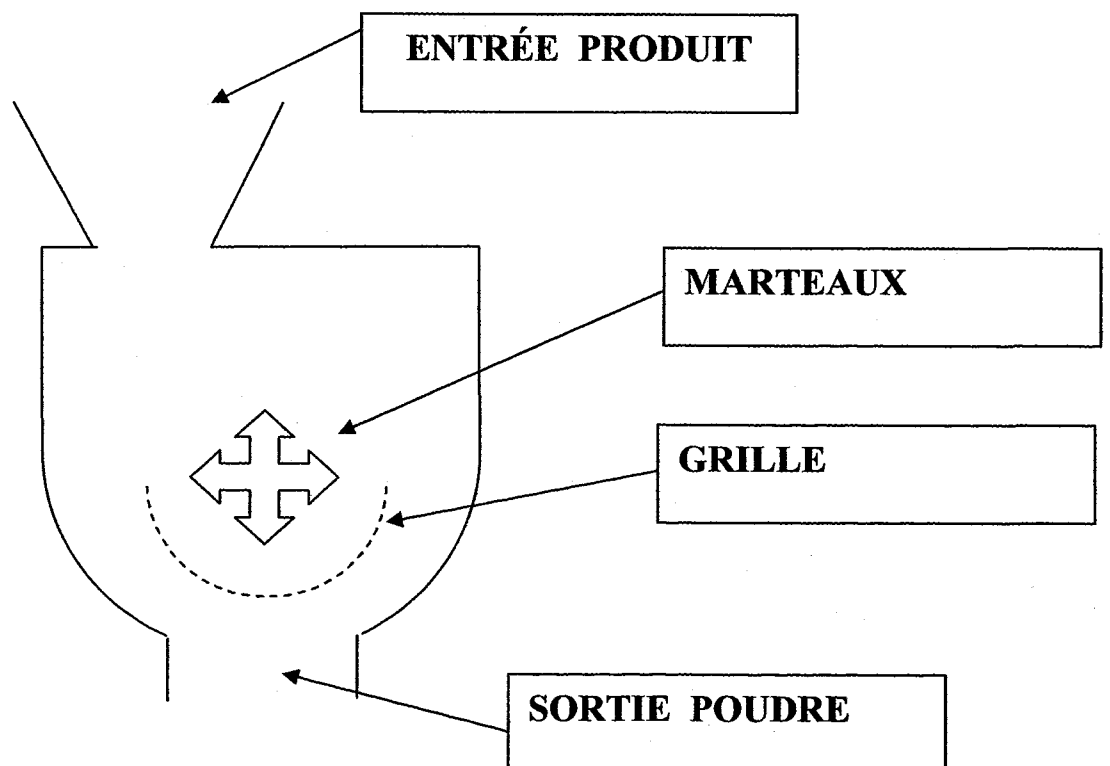
**ANNEXE 2 :**  
**SCHÉMA SIMPLIFIÉ D'UN SÉCHEUR À LIT FLUIDISÉ CONTINU**

(0,5 × 4 = 2 points)



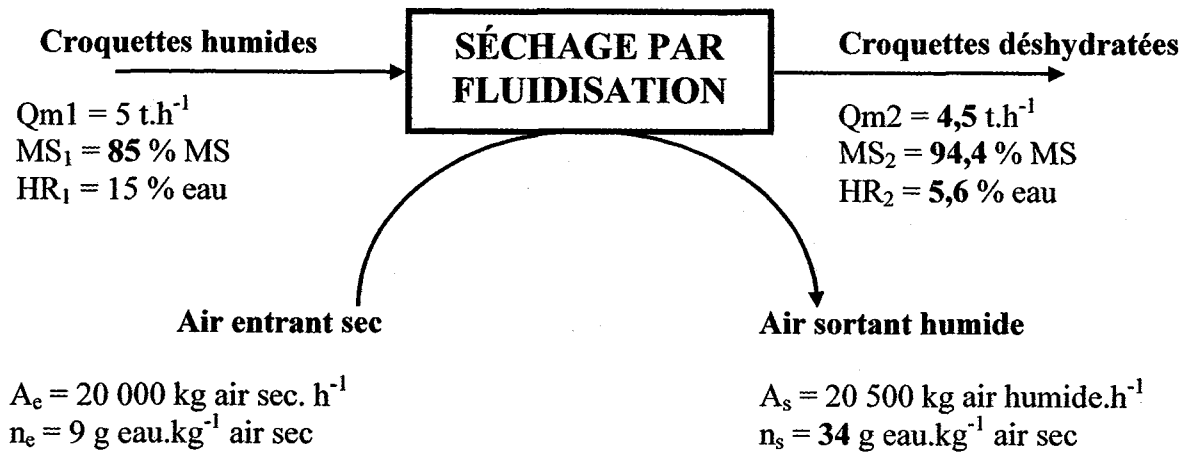
**ANNEXE 3 : SCHÉMA D'UN BROYEUR À MARTEAUX**

(0,25 × 4 = 1 point)



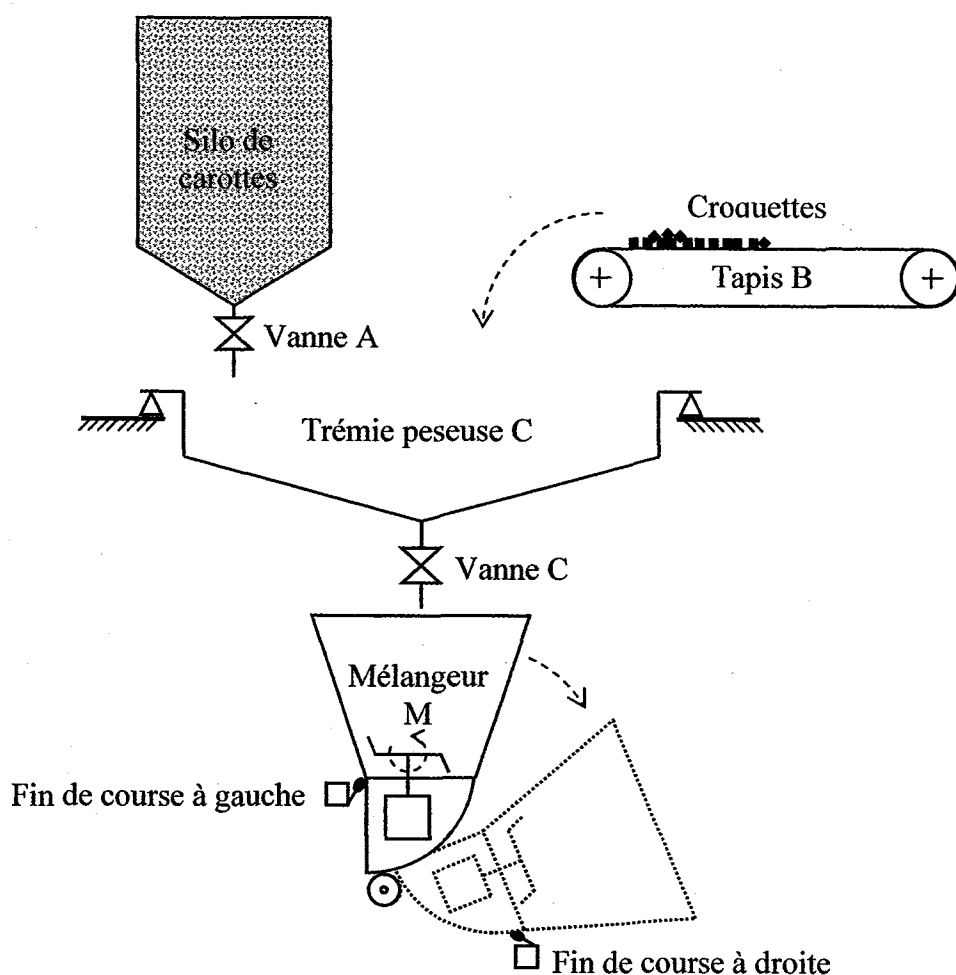
## ANNEXE 4 : SCHÉMA DE PRINCIPE DU SÉCHAGE

*Document à compléter et à remettre avec la copie.*



DÉTAIL DES CALCULS : dans le corps de texte.

## ANNEXE 5 : SCHÉMA DE LA STATION DE MÉLANGE



### CYCLE DE FONCTIONNEMENT

L'ordre de départ du cycle est donné par l'opérateur. Il n'est pris en compte que si la trémie est vide, le mélangeur est à gauche, la vanne C fermée, la vanne A fermée.  
 Les carottes sont d'abord pesées dans la trémie C.  
 Les croquettes sont ensuite pesées.  
 L'ensemble est envoyé dans le mélangeur et malaxé pendant dix minutes.  
 Le mélangeur est vidé par pivotement à droite ; le malaxage est maintenu pendant 5 minutes. Le cycle se termine par le retour à gauche du mélangeur.

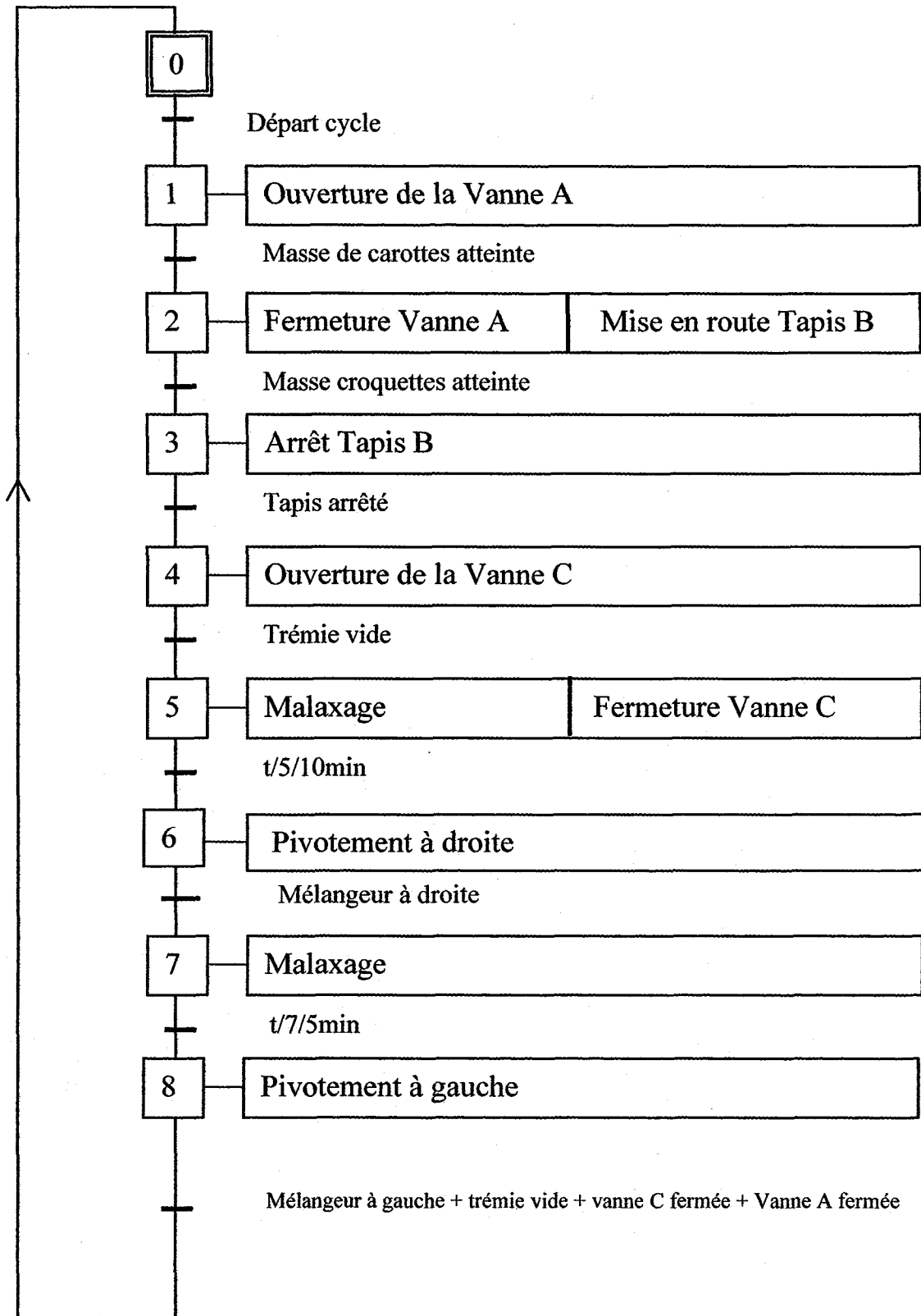
Actions
Ouverture de la vanne A
Fermeture de la vanne A
Avance du tapis B
Ouverture de la vanne C
Fermeture de la vanne C
Arrêt du tapis B
Pivotement à droite
Pivotement à gauche
Malaxage

États
Durée : 10 minutes
Durée : 5 minutes
Vanne A fermée
Vanne C fermée
Tapis B arrêté
Trémie vide
Masse de carottes atteinte
Masse de croquettes atteinte
Mélangeur à droite
Mélangeur à gauche

## ANNEXE 6 : AUTOMATISME (10 points)

GRAFCET de niveau 1

$0,75 \times 9$  (couples action/ transition) + 3,25 (logique du cycle) = 10 points



## ANNEXE 7

Courbe d'analyse granulométrique de poudres obtenues par passage dans un broyeur à marteaux lors de la fabrication d'un repas complet pour chiens : % passants cumulés = f (taille maille)

