



## CONCEPTION D'UN SYSTEME-EXPERT D'AIDE A LA SELECTION D'UN PROCEDURE DE SECHAGE INDUSTRIEL.

**K. NEHAL**

*Institut des Sciences de l'Ingénieur, Centre Universitaire de Médéa.*

*Quartier Ain-Dheb, Médéa 26000.*

*Tel/Fax: 025 59 21 11.*

### **Résumé :**

L'optimisation d'une opération de séchage s'effectue en premier lieu par le choix rationnel du procédé de séchage et puis par son exploitation optimale. Ce choix est fonction des spécifications techniques des sècheurs et de la nature du produit à sécher. Pour une application donnée, ce choix est réalisé en deux étapes : la première consiste à recenser les sècheurs aptes à résoudre le problème de séchage et la deuxième étape permet de raffiner ce choix en se basant sur des critères technico-économiques.

Le présent article présente l'élaboration de la base de connaissances d'un système-expert (S.E) d'aide à la sélection d'un procédé de séchage industriel. Les spécifications de 24 procédés de séchage industriels pour divers produits sont inclus dans cette base. Ce système qui sera programmé sur ordinateur, combine les connaissances expertes dans le domaine du séchage industriel avec la technologie de l'intelligence artificielle (I.A).

**Mots clés :** *Systèmes à base de connaissances, Système-expert, Intelligence artificielle, Sélection d'un procédé de séchage.*

### **Abstract :**

The optimization of a drying operation is achieved by choosing the drying equipment and then by its optimum use. The selection depends on the technical specifications of the dryers and on the nature and the drying characteristics of the material being handled. For a particular drying application this selection starts by making preliminary choices from a set of alternatives (drying processes) and then by refining the choice using technical and economical criteria.

This paper presents the conceptual design of the knowledge base (data base) of an expert system (E.S) that aids in the selection of a drying process. The specifications of 24 industrial drying processes are included in the data base. The developed expert system, which entails combination of expert knowledge in the field of industrial drying and artificial intelligence (A.I) techniques, will be implemented on a computer using symbolic programming.

**Key words :** *Knowledge-based systems, Expert System, Artificial intelligence, Selection of drying process and equipment.*

## 1- INTRODUCTION :

Sécher un produit qui peut être solide, pulvérulent, granuleux, fibreux, voire poreux ou pâteux, c'est éliminer une partie liquide par des moyens thermiques ou mécaniques. La phase liquide est généralement de l'eau, mais dans certains cas ce liquide est un solvant qui doit être récupéré à la sortie du sécheur pour des raisons de coût et de sécurité [1]. Dans cet article, seuls seront évoqués les procédés de séchage thermiques.

Lors de l'opération de séchage d'un produit, il est nécessaire d'éviter : [2,3]

- La détérioration du produit par attrition.
- La contamination du produit.
- La dégradation chimique du produit par élévation excessive de la température.
- Le changement de la morphologie du produit (fissuration, rétrécissement... etc).
- La détérioration du produit par oxydation.
- La perte de saveur et la non préservation des vitamines du produit.
- La pollution du produit par des métaux indésirables.
- Les risques d'explosion (présence de poussière ou vapeur chaude de solvant).
- L'encroûtement des parois d'échange thermique.
- Un coût énergétique élevé.

## 2- SYSTEMES EXPERTS ET SELECTION D'UN PROCEDE DE SECHAGE :

Pour éviter les problèmes cités ci-dessus et garantir la conformité du produit sec, un

choix rationnel et un fonctionnement optimal du procédé de séchage s'imposent.

Cette contrainte est très présente dans certains types d'industries telles que l'industrie agro-alimentaire et l'industrie pharmaceutique où les produits à sécher doivent satisfaire à de grandes exigences de qualité et à des critères d'hygiène [4,5].

Vu que la technologie des sécheurs est très variée, le choix d'un procédé de séchage qui donne au produit sec les caractéristiques désirées, devient un peu complexe. Pour résoudre ce problème on a fait appel aux méthodes d'intelligence artificielle (I.A) qui traitent de la reproduction des mécanismes de raisonnement et de la manipulation des connaissances, et plus précisément à la méthodologie des "systèmes-experts" (S.E) [6].

Quelque soit le domaine d'application, les tâches à effectuer par ces systèmes sont: l'interprétation, la prédiction, le diagnostic, la sélection, la conception, la planification, la conduite de processus...etc [7,8,9,10,11].

Les composantes de base de ces "systèmes-experts" sont essentiellement [12]:

- a- Un langage d'expression des connaissances fournies par les experts.
- b- Une base de connaissances : pour accueillir les connaissances spécifiques d'un domaine d'application (dans notre c'est le domaine de séchage industriel).

c- Un moteur d'inférences : mécanisme de raisonnement qui exploite les connaissances de la base en combinant des règles, représentant le savoir-faire sur le domaine, pour aboutir à la solution du problème.

On retrouve cette structure quelque soit le domaine d'application du système-expert, c'est le cas de : " DENDRAL" (détermination des structures de molécules organiques), "PROSPECTOR" (évaluation d'un site en vue d'une prospection minière), "MYCIN" (diagnostic et traitement des maladies bactériennes), "HEARSAY" (reconnaissance de la parole humaine), "MOLGEN" (génie génétique), "AML" (robotique), "MEPRA" (évaluation des risques d'avalanche)... etc [6,12]. Tous ces systèmes experts nécessitent, bien sur, une expertise dans le domaine considéré.

Pour respecter la tradition, qui consiste à donner un nom à chaque système-expert développé, notre système-expert d'aide à la sélection d'un procédé de séchage aura pour nom "PROSEC".

### 3- CRITERES DE CHOIX DU PROCEDURE DE SECHAGE :

Bien que le produit, du fait de ses caractéristiques physico-chimiques et son comportement au cours de séchage, soit un élément essentiel pour le choix du procédé de séchage, on doit prendre en compte d'autres éléments tels que [13,14]:

- Propriétés du produit à sécher.
- Caractéristiques de séchage du produit.
- Qualité du produit sec.

- Propriétés et conditionnement de l'agent de séchage.
- Contraintes opératoires.
- Spécifications techniques des sècheurs et dispositifs annexes.
- Contraintes économiques.
- Contraintes sécuritaires.
- 

### 4- BASE DE CONNAISSANCES DU SYTEME-EXPERT "PROSEC" :

La base de connaissances de "PROSEC" est composé (figure 1) :

- D'une base de faits (BdF ) regroupant les données élémentaires décrites sous forme de triplets : "objet- attribut-valeur".
- D'une base de règles (BdR) rédigées sous la forme :

**"IF Prémisse THEN Action "**

Sous une autre forme :

**"SI Conditions ALORS Conclusion"**

Dans cette structure, la vérification des prémisses (ensemble de conditions permettant le déclenchement de la règle ) conduit à la sélection du procédé de séchage.

Ces deux bases (BdF et BdR), qui qualifient l'ensemble des connaissances nécessaires à la résolution du problème de choix du procédé de séchage, nécessitent un grand nombre d'informations. Dans notre cas, ces informations ont été obtenues grâce à une recherche bibliographique dans le domaine des équipements de séchage [2,3,15,16,17,18,19].

La base de faits de notre système – expert est constituée de 4 objets :

- **"Produit"**
- **"Qualité\_ produit "**

- "Séchage\_produit "
- "Agent\_séchage".

"Les valeurs" que possèdent les "attributs" de chaque "objet" sont résumées dans le tableau 1. Les règles de production sont construites à partir de la combinaison des tableaux 2 et 3 et du réseau sémantique de décisions de la figure 2.

### 5- MECANISME DE RAISONNEMENT DE "PROSEC" :

Les facteurs qui influent sur le choix du procédé de séchage forment un ensemble **F** qui constitue la base de faits (**BdF**) :

$$F = (F_{111}, F_{112}, \dots, F_{ijk}, \dots, F_{mnq})$$

$F_{ijk}$  = la k-ème valeur possible de j-ème attribut possible du i-ème objet.

m = nombre d'objets.

n = nombre d'attributs du i-ème objet.

q = nombre de valeurs du j-ème attribut.

Les règles de production de "PROSEC" forment un ensemble :

$$R = (R_1, R_2, \dots, R_r)$$

r = nombre de règles de la base des règles.

Les procédés de séchage recensés forment un ensemble :

$$P = (P_1, P_2, \dots, P_t)$$

t = nombre de procédés de séchage, dans notre cas t = 24 (en comptant les variantes de ces procédés on arrive à 35 appareils de séchage).

Le mécanisme de raisonnement de "PROSEC" est un enchaînement de règles en "chaînage avant". Ce mécanisme comporte: la phase d'évaluation et la phase d'exécution. La phase d'évaluation comprend trois étapes: la restriction, le filtrage et la résolution de

conflits (figure 3). La restriction détermine, à partir de **F** (**BdF**) et **R** (**BdR**) un sous-ensemble **F<sub>R</sub>** et **R<sub>R</sub>** qui, a priori méritent d'être comparés lors de l'étape de filtrage. Pendant le filtrage, le moteur d'inférences compare la partie déclencheur de chacune des règles de **R<sub>R</sub>** par rapport à l'ensemble **F<sub>R</sub>** des faits. Un sous-ensemble **R<sub>F</sub>**, appelé "ensemble de conflits", rassemble alors les règles jugées compatibles avec **F<sub>R</sub>**. Lors de la résolution de conflits, le moteur détermine les règles (sous-ensemble **R<sub>RC</sub>**), qui doivent être effectivement "déclenchées".

La phase d'exécution commande la mise en œuvre des conclusions définies par ces règles (**R<sub>RC</sub>**). On peut associer à chaque règle un coefficient de vraisemblance (**CV**) donné entre parenthèses à la fin de chaque conclusion. La règle qui répond au plus grand nombre de conditions aura sa conclusion avec le plus grand **CV**. Ceci permet de classer les procédés de séchage choisis ou les variantes de ces procédés dans l'ordre de préférence (notre base de données est constituée de 24 principaux procédés et 11 variantes, au total on compte 35 appareils de séchage).

### 6- EXEMPLES :

#### 6.1- Séchage de charbon ( 50 t / h ) :

Règle :

**SI** Nature produit : poudre.

Et diamètre particule < 1mm.

Et temps de séjour < 1 min

Et produit non-thermosensible.

Et température de séchage: 250-300°C.

Et agent de séchage : air.

Et opération de séchage : continue.

Et capacité d'évaporation > 50kg / h.

**ALORS** les procédés de séchage recommandés sont :

- 1-Procédé de séchage pneumatique avec recyclage de matière (0,9).
- 2-Procédé de séchage pneumatique avec recyclage d'air (0,7).
- 3-sécheur pneumatique en anneau (0,5).

## 6.2- Séchage d'engrais (40 t /h)

Règle :

**SI** Nature produit : grain.

Et diamètre particule : 1-10 mm.

Et agent de séchage : air.

Et produit non- thermosensible.

Et opération de séchage : continue.

Et type de portance : mécanique.

**ALORS** les procédés de séchage recommandés sont :

- 1-Sécheur rotatif à convection (0,9).
- 2-Sécheur tambour (0,8).
- 3-Sécheur à tapis à percussion (0,4).

## 6.3- Séchage de Tissus (qualité 90 g/m) :

Règle :

**SI** Nature produit : Bande continue.

Et épaisseur < 2 mm.

Et produit mode chauffage : indirect.

Et opération de séchage : continue.

Et contrainte qualité : décoloration.

**ALORS** les procédés de séchage recommandés sont :

- 1-Rame de séchage à infra-rouge (0,9).
- 2-Sécheur à haute fréquence (0,8).

3-Sécheur à micro-ondes (0,7).

4-Cylindre sécheur (0,6).

## 7- CONCLUSION :

IL existe, en principe, un appareil à chaque problème de séchage. Malgré les nombreux facteurs intervenant, de façon trop complexe, dans le choix du procédé et de l'équipement de séchage pour un produit donné, notre système-expert peut aider l'industriel à faire ce choix (choix d'un sécheur parmi 35 appareils de séchage recensés).

On s'est particulièrement intéressé à la première étape de la conception du système-expert qui consiste à construire la base de connaissances (**BdF** et **BdR**) et à mettre au point un mécanisme de raisonnement. La programmation du système-expert peut se faire soit en utilisant un langage informatique telles que JAVA, CLIPS ou des environnements commerciaux tels que ADVISOR ...etc.

Notre système-expert "PROSEC" aura comme caractéristique : la possibilité de la mise à jour de la base de connaissances (BdC) en particulier par ajout de connaissances à la base existante.

On peut perfectionner notre système en faisant coexister dans le même système plusieurs objectifs tels que la sélection, le dimensionnement et la simulation d'un procédé de séchage. C'est la tendance actuelle en intelligence artificielle (I.A) appliquée au génie des procédés.

REFERENCES

- [1]:GARDNER W., "*Industrial drying*", L. Hill, London, 1971.
- [2]:PERRY R.H., "*Perry's chemical engineer's handbook*.", Mc Graw-Hill, U.S.A, 1997.
- [3]:KEY R.B., "*Introduction to Industrial drying operations*", London, 1978.
- [4]:WALSH G., "*Biopharmaceuticals*", John Wiley, U.K, 1998.
- [5]:NONHEBEL G., "*Drying of solids in the chemical Industry*", Butterworths, London, 1971.
- [6]:FARRENY H., "*Les systèmes-Experts*", Berti Edition, Alger, 1992.
- [7]:GARLAND W.J., "*The Role of knowledge-based systems in heat exchanger selection, design and operation*", in new developments in heat exchangers, pp.51-72, Gordon & breach publishers, Australia, 1999.
- [8]:CARVALHO M.G., "*Heat exchanger fouling assessment expert-system*", in new developments in heat exchangers, pp.105-115, Gordon & breach publishers, Australia, 1999.
- [9]:CHETATE B., "*Elaboration d'un système C.A.O permettant le choix de la puissance des moteurs électriques*", Revue int. tech. avancées, N° 8, pp. 39-51, Alger 1995.
- [10]:BOUGAEVA L., "*Système- expert du choix et de la simulation des procédés d'épuration des déchets gazeux*", SIMO 96, Vol.10, pp.33-38, Toulouse 1996.
- [11]:SERGEANT R., "*Real-time expert systems for the oil and gas industry*", International conference on knowledge based systems, pp.115-132, London, 1986.
- [12]:DOMINE C.H., "*Techniques de l'intelligence Artificielle*", Dunod, Paris, 1988.
- [13]:COULSON, "*Chemical engineering* ", Vol.2, Pergamon, U.S.A, 1991.
- [14]:MUJUMBAR A., "*Advances in drying* ", Vol.2, Mc. Graw -Hill, U.S.A, 1983.
- [15]:PARTI M., "*Mathematical model for spray drying* ", Chem. Eng. Sc.,V.29, pp.335-362,G.B,1974.
- [16]:HOEBINK J.H., "*Fluidized bed drying* ", T.U. Eindhoven, Netherlands, 1967.
- [17]:FROEHLICH R., "*Applications de l'électricité dans les procédés industriels*", Electra, France, 1995.
- [18]:BAKER J., "*Industrial drying of foods* ", Chapman and Hill, U.K., 1997.
- [19]:KEY R.B, "*Drying principles and practice* ", Pergamon Press, Oxford, U.K., 1972.

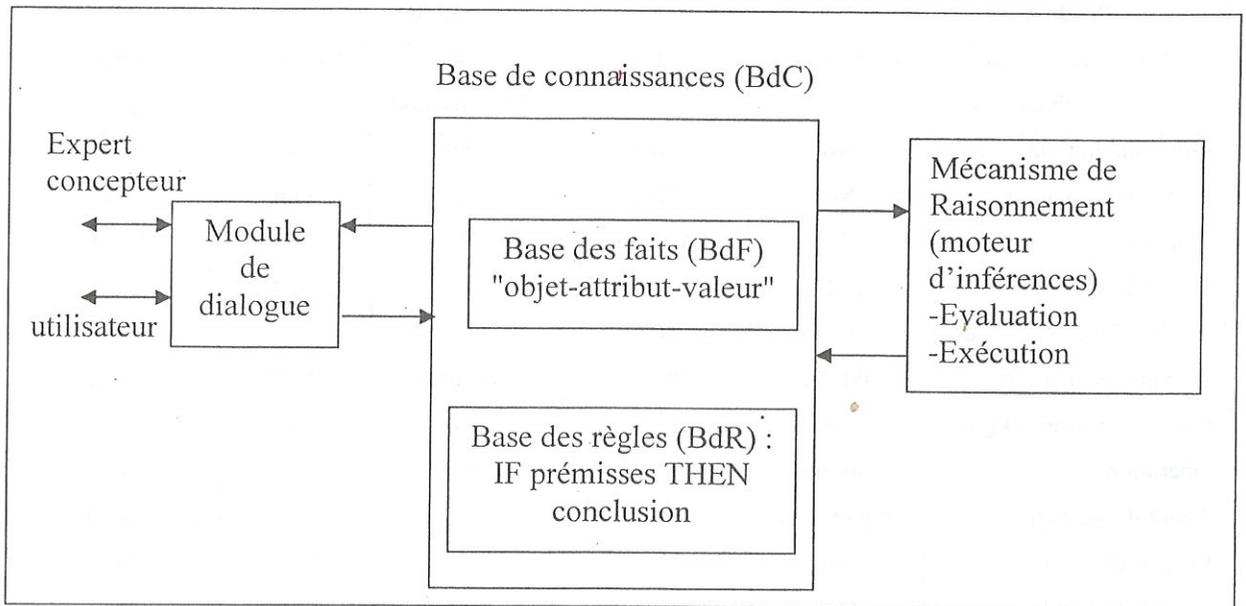


Figure 1- Architecture du système-expert « PROSEC ».

Objet	Attribut	Valeur
Produit	-Taux d'humidité initial -Diamètre moyen particules -Epaisseur -Risque de manipulation -Nature	Valeur numérique Valeur numérique Valeur numérique Néant, toxique, corrosive, inflammable, abrasif. Liquide, solide en format, pâteux, poudre, granule, morceaux, bande continue, bande discontinue.
Qualité_ produit	-Taux d'humidité final -Production horaire -T° max supportable -Contrainte qualité	Valeur numérique Valeur numérique Valeur numérique Néant, rétrécissement, contamination, attrition, décomposition, décoloration.
Séchage_ produit	-Temps de séchage -Opération -Type de portance -Contrainte opératoire -Chauffage du produit -Récupération solvant -Volume de l'installation	Valeur numérique Batch, continue Mécanique, pneumatique, aéraulique. Néant, bruit, vibration, poussière. Direct, indirect Oui/ Non Petit, moyen, grand
Agent_ séchage	-Nature -Température -Taux d'humidité -Source d'énergie -Conditionnement	Air, azote, sous-vide Valeur numérique Valeur numérique Electrique, combustible Néant, déshumidification, filtrage, préchauffage.

Tableau 1 –Base des faits du système –expert "PROSEC".

# CONCEPTION D'UN SYSTEME EXPERT D'AIDE A LA SELECTION .....

Produit	SECHEURS				
	Pneumatique	Lit fluidisé	Tour d'atomisation	A plateaux	Lyophiliseur
Propriétés et caract. de séchage					
Humidité initiale > 80%	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Particules collantes	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Attrition	Elevé	Moyenne	Faible	Faible	Faible
Durée de séchage	1÷10s	>10s	3-10s	12à24H	>10s
Produit thermosensible	Oui	Non	Oui	Oui	Oui
T° dans sécheur (°C)	100÷500	180-600	180-600	30÷140	
Capacité d'évap. (kg/h)	>50	>20	>20	20÷1000	>5
Opération	continue	batch/continue	continue	batch	batch
Agent de séchage	air/gaz inerte	Air	Air	Air	sous-vide/P.atm
Produit en bande	Non	Non	Non	Non	Non
Produit en poudre	Oui	Oui	Non	Oui	Oui
Produit liquide	Non	Non	Oui	Non	Oui
Particules très fines	Oui	Non	Oui	Oui	Oui

Tableau 2 - Base de règles de "PROSEC pour 5 procédés de séchage (Tableau non -exhaustif).

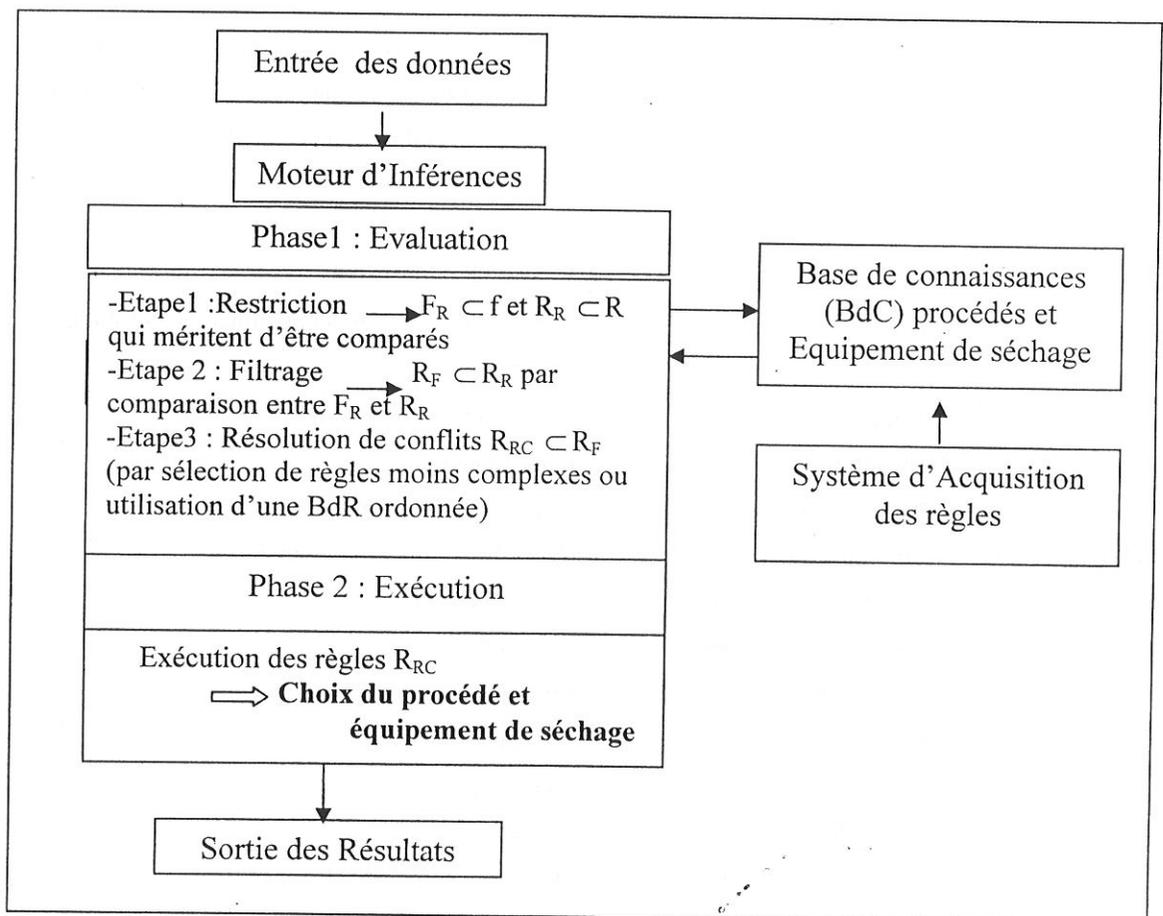


Figure 3- Mécanisme de Raisonnement et organigramme de PROSEC".

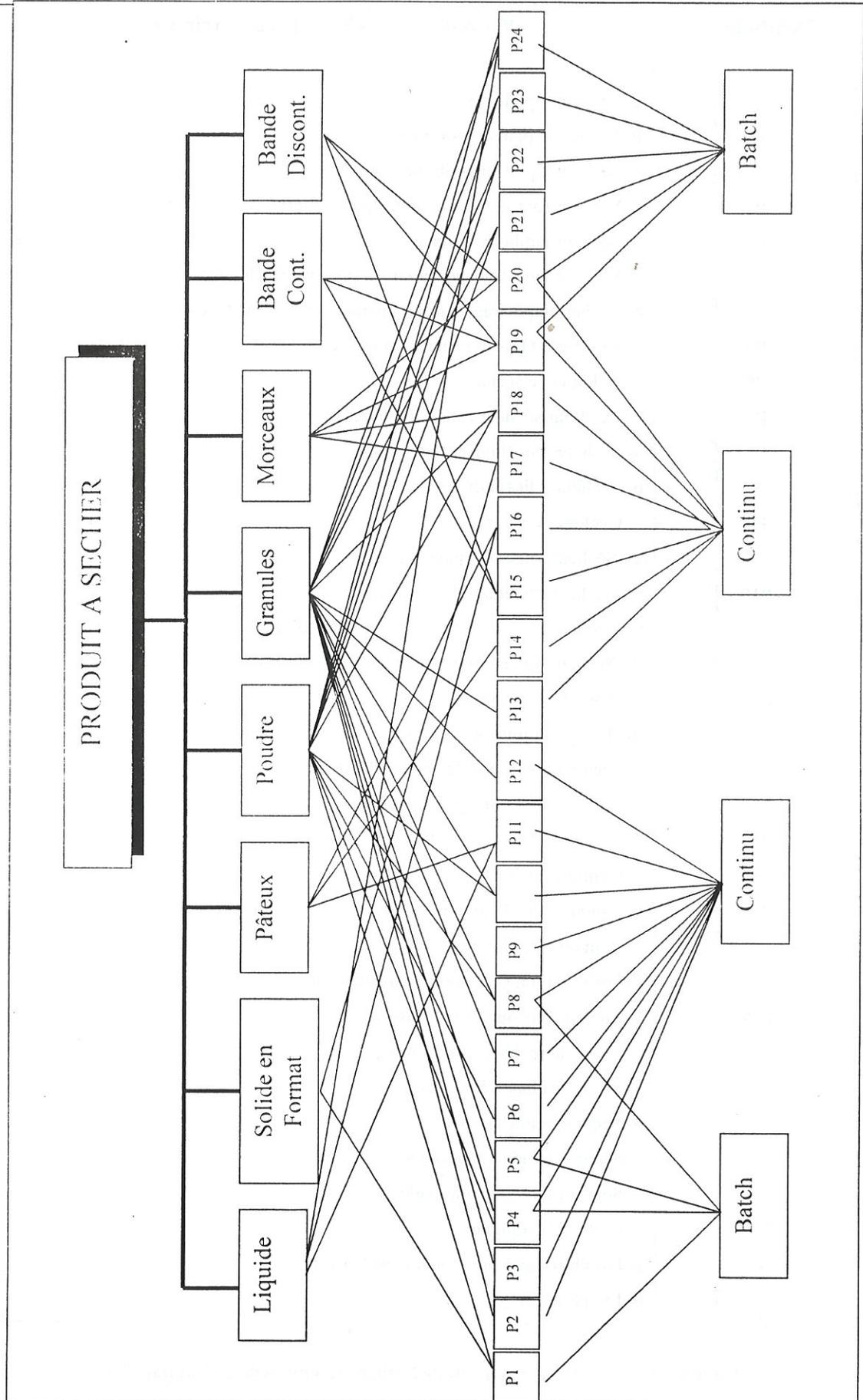


Figure 2-Réseau Sémantique de Décision