

# **Modélisation graphique des processus : application aux systèmes de production**

# Du processus aux procédures ... et jusqu'aux gestes

## Exemple d'un voyage en avion

(d'après Henry et Monkam-Daverat, 1998)

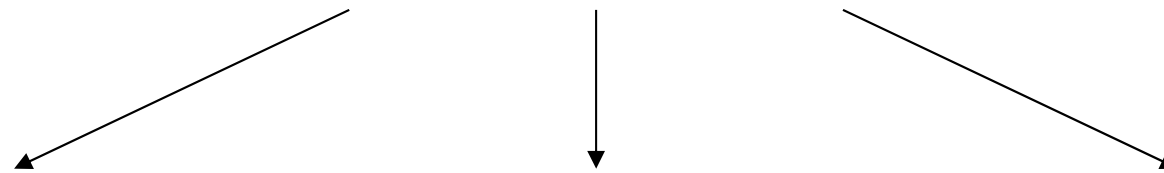
- **Processus** : activité de production ou de gestion déterminée, impliquant le déroulement d'un ensemble d'actions visant à remplir une finalité globale
- **Procédure** : enchaînement de tâches élémentaires standardisées, déclenchées en amont par l'expression d'un besoin quelconque et limitées en aval par l'obtention d'un résultat attendu

Mission	Processus	Procédures	Tâches	Gestes
Voyage en avion	Préparation			
	Départ	Mise en route Roulage au sol		
		Point fixe	Lecture check list	
			Vérification commandes	
			Essai moteurs	x y z...
			Réglage instruments	
	Autorisation de la tour			
	Envol			
	Traversée			
	Approche			
Arrivée				

# Modèles de connaissance

## Quelques exemples de modèles disponibles

### Représentation du réel



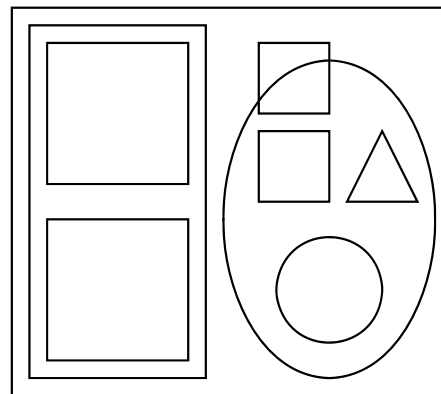
#### Modèle comportemental (ou modèle boîte noire)

Définit le comportement d'un système, souvent sous la forme d'une équation liant entrées / sorties  
« comment cela se comporte ? »



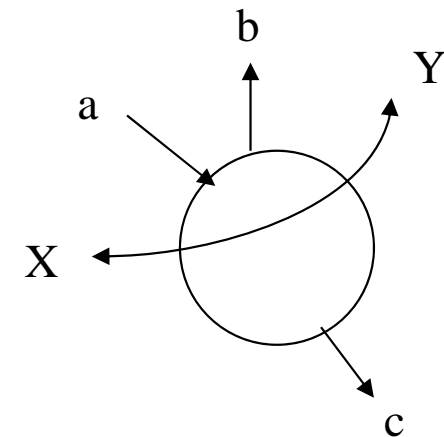
#### Modèle Structurel

Définit les composants d'un système et leurs relations de composition  
« comment ça marche ? »



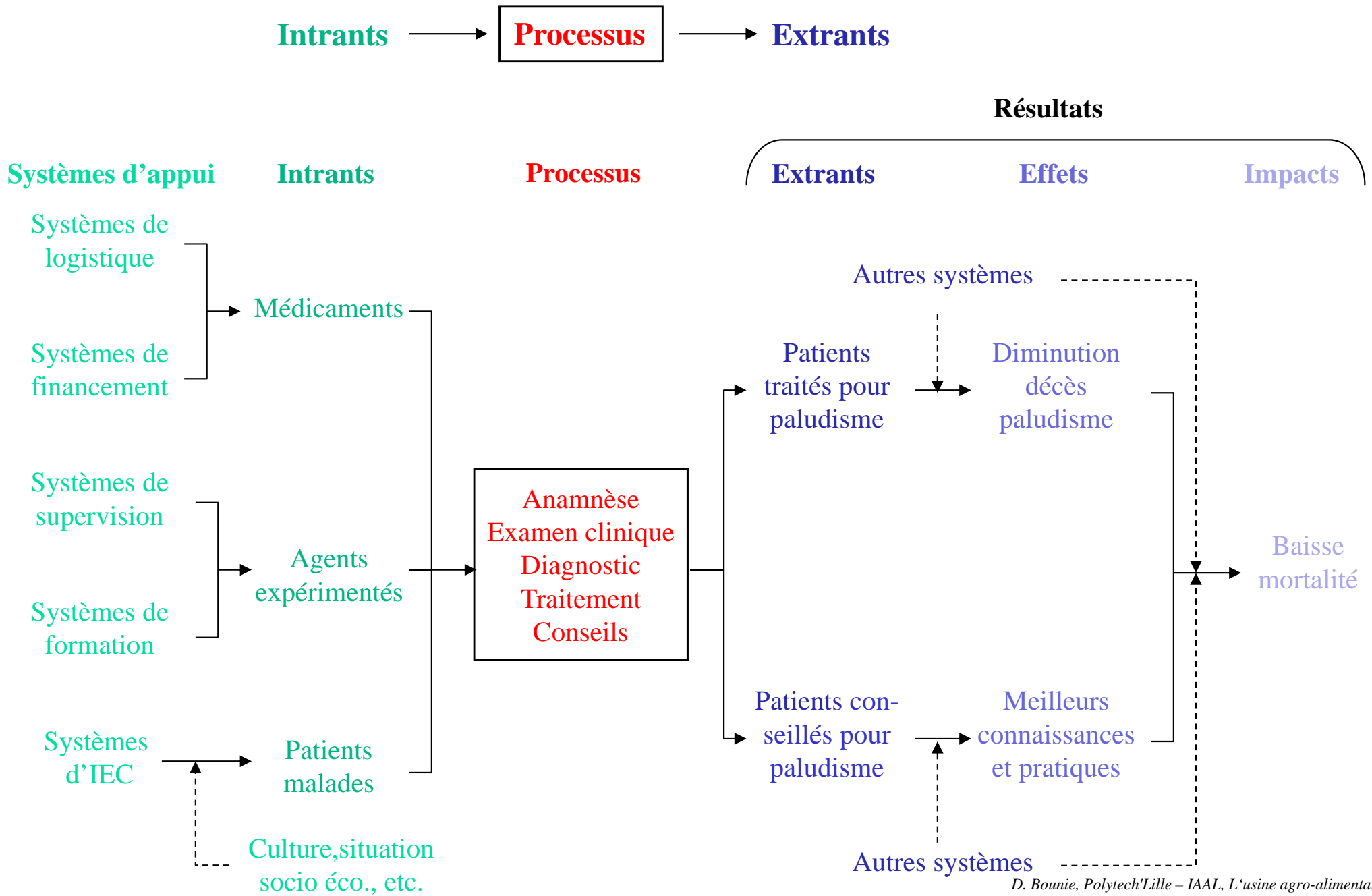
#### Modèle fonctionnel

Définit les différentes fonctions d'un système à partir de ses fonctions génériques  
« à quoi ça sert ? »



# Modélisation systémique : ex. du traitement du paludisme

(Franco et al., 1997)



# Actigramme SADT ou IDEF0 (1/3)

(SADT : Structured Analysis and Design Technique  
IDF : Integrated Definition Language)

**Diagramme permettant de modéliser un système  
par une analyse fonctionnelle descendante, modulaire et hiérarchisée**

(Évènements déclenchant l'activité décrite  
ou influant fortement son comportement )

« Contrôles »

**Module** : décomposition  
unitaire des activités  
fonctionnelles du système

(Éléments consommés  
par l'activité décrite  
pour fournir les sorties)

**Entrées**

**MODULE**

**Sorties**

(Résultats de  
l'activité décrite)



Flux matériels ou d'information

« Mécanismes » ou supports physiques

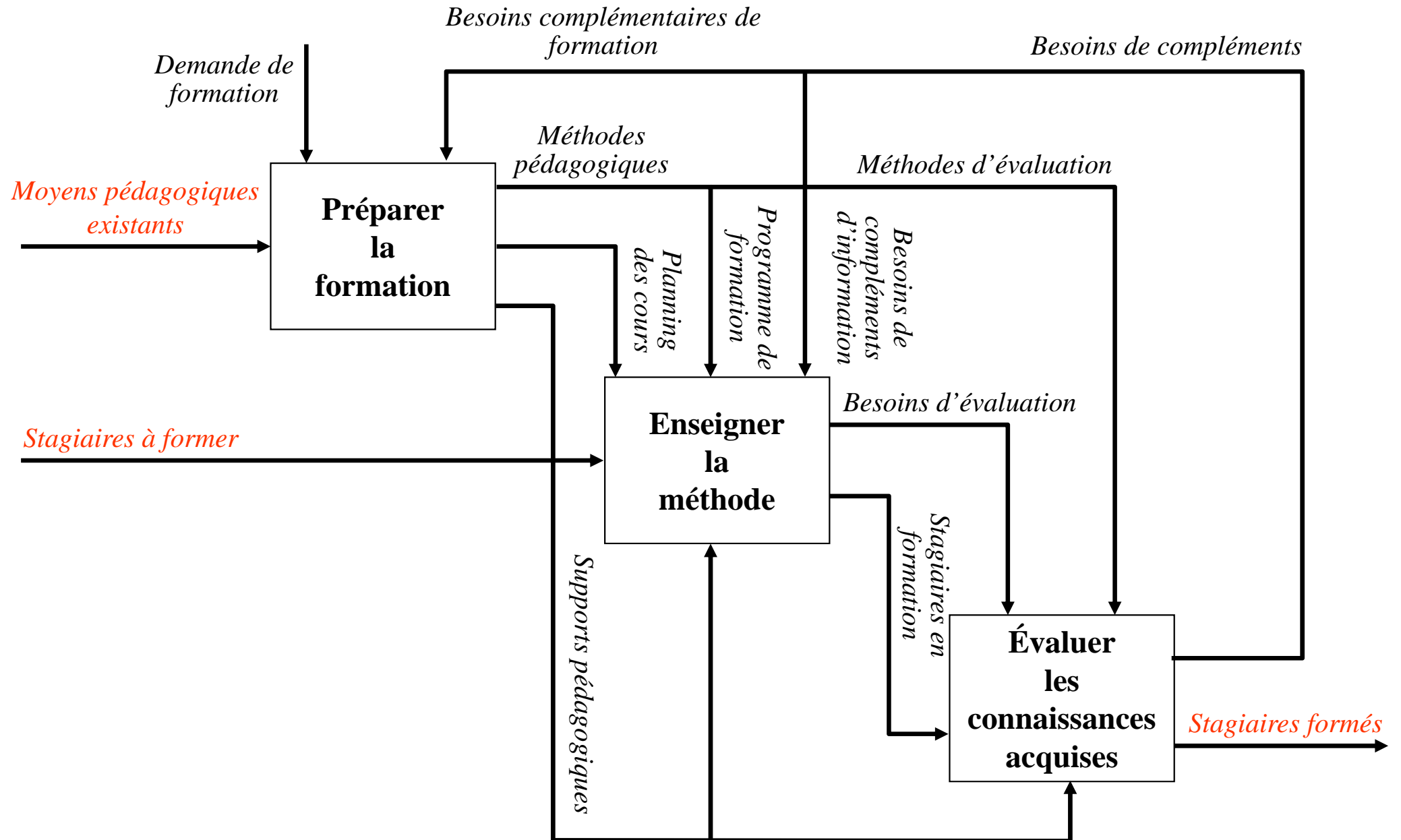
(Éléments physiques – individus, organismes, machines -  
mis en œuvre pour réaliser l'activité décrite)

Comment ? Qui ?

# Actigramme SADT (2/3)

## Exemple d'application : formation de stagiaires

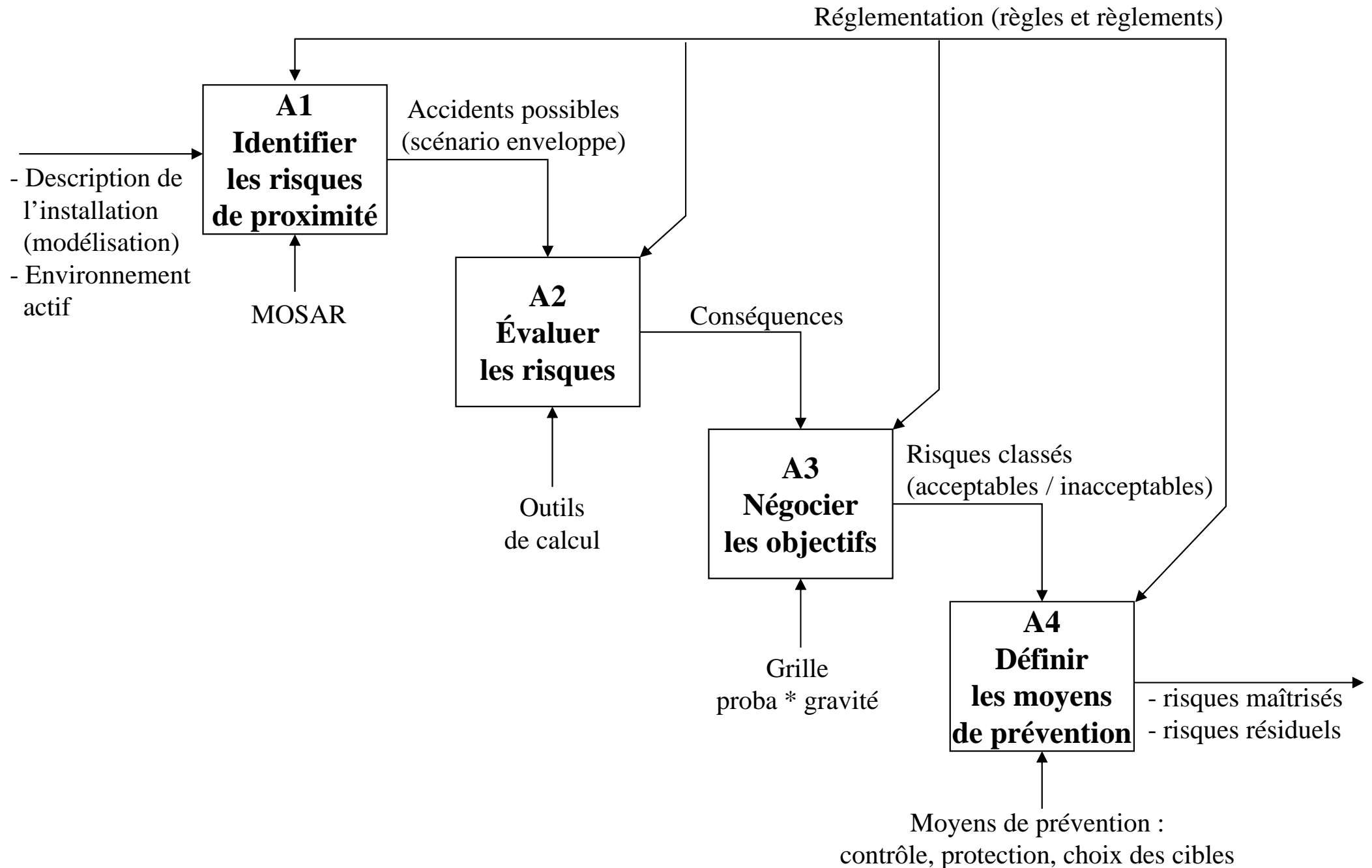
(d'après Cazaubon et al., 1997)



# Actigramme SADT (3/3)

## Exemple d'application : prévention de risques par la méthode MOSAR

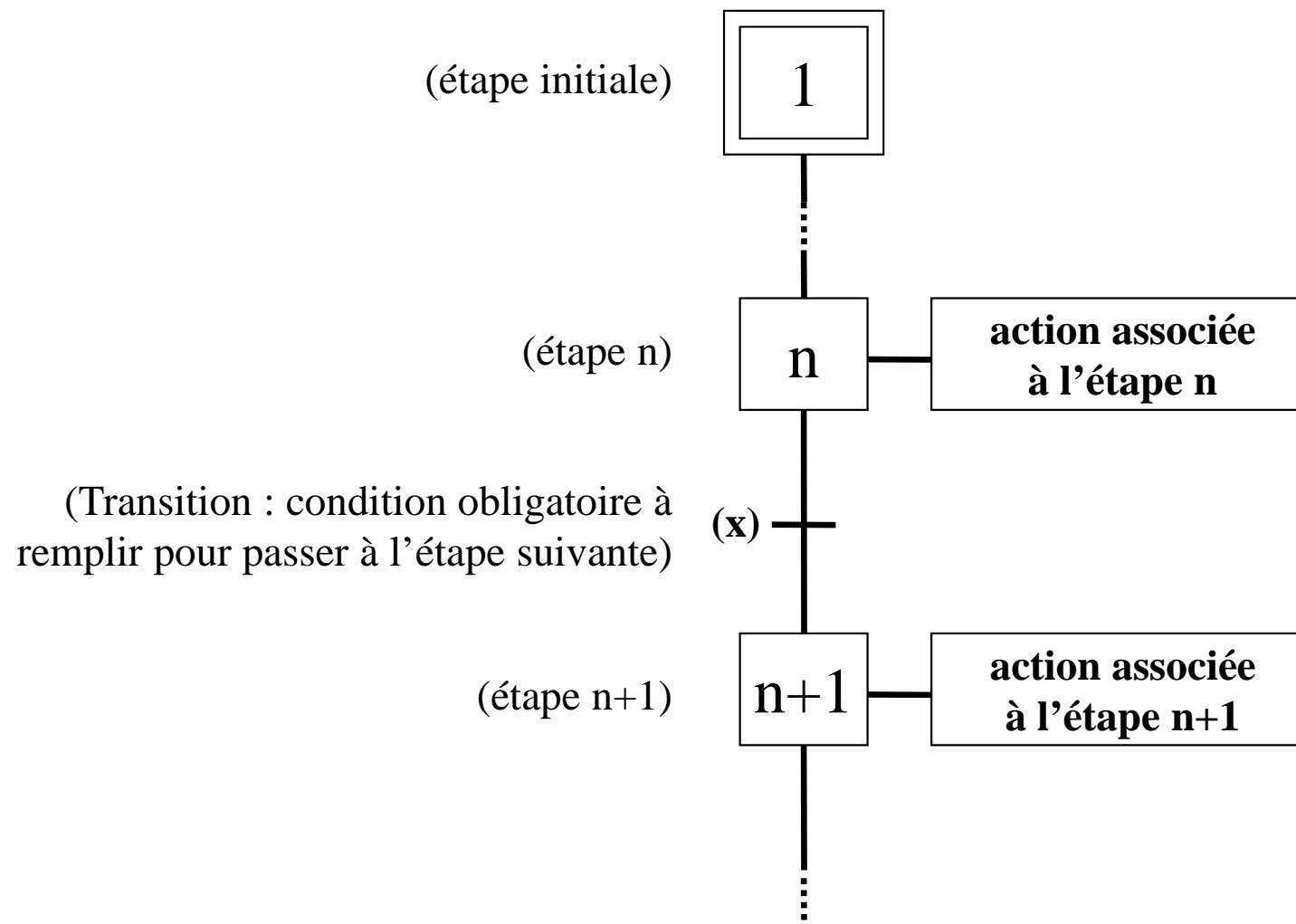
(d'après J-L Ermine., 2002)



# Formalisme Grafcet

## (Graphe de Commande Étape/Transition)

Diagramme fonctionnel utilisé pour la description des systèmes logiques de commande





## Process and plant design : activités traditionnelles d'ingénierie mobilisées

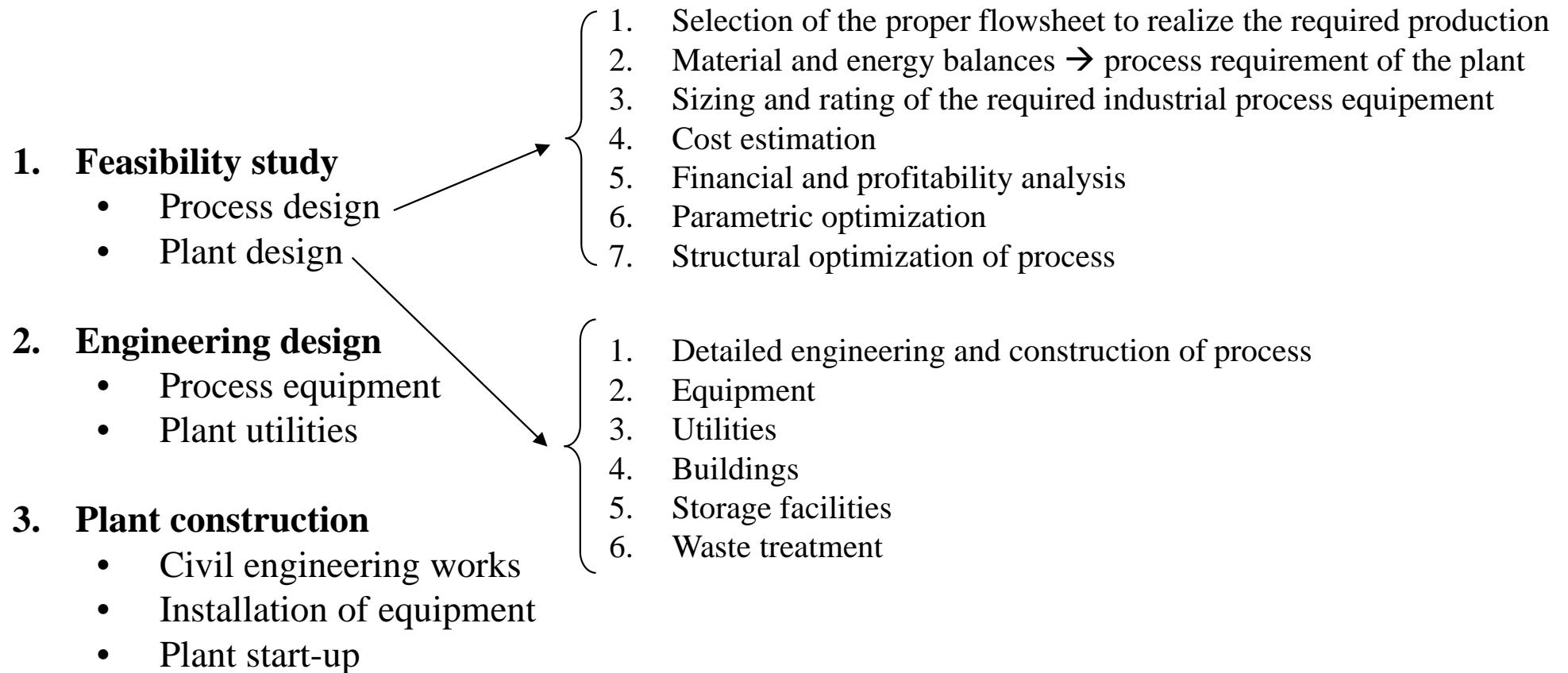
*(d'après Maroulis et Saravacos, 2003)*

- **Chemical engineering**
  - physical and engineering properties of materials
  - process flowsheets
  - material and energy balances
  - equipment sizing
  - plant utilities
- **Mechanical engineering**
  - detailed engineering design of process and utility equipment
  - piping and material transport equipment
  - heating / air conditioning of industrial bulidings
- **Electrical engineering**
  - electrical power
  - industrial lighting
  - process control
  - plant automation
- **Industrial engineering**
  - efficient plant operation
  - better utilization of material and labor ressources
  - time-motion studies
  - application of occupatinnal and public health regulations

# Process and plant design :

## différentes phases de conception / construction d'une unité industrielle

(d'après Maroulis et Saravacos, 2003)

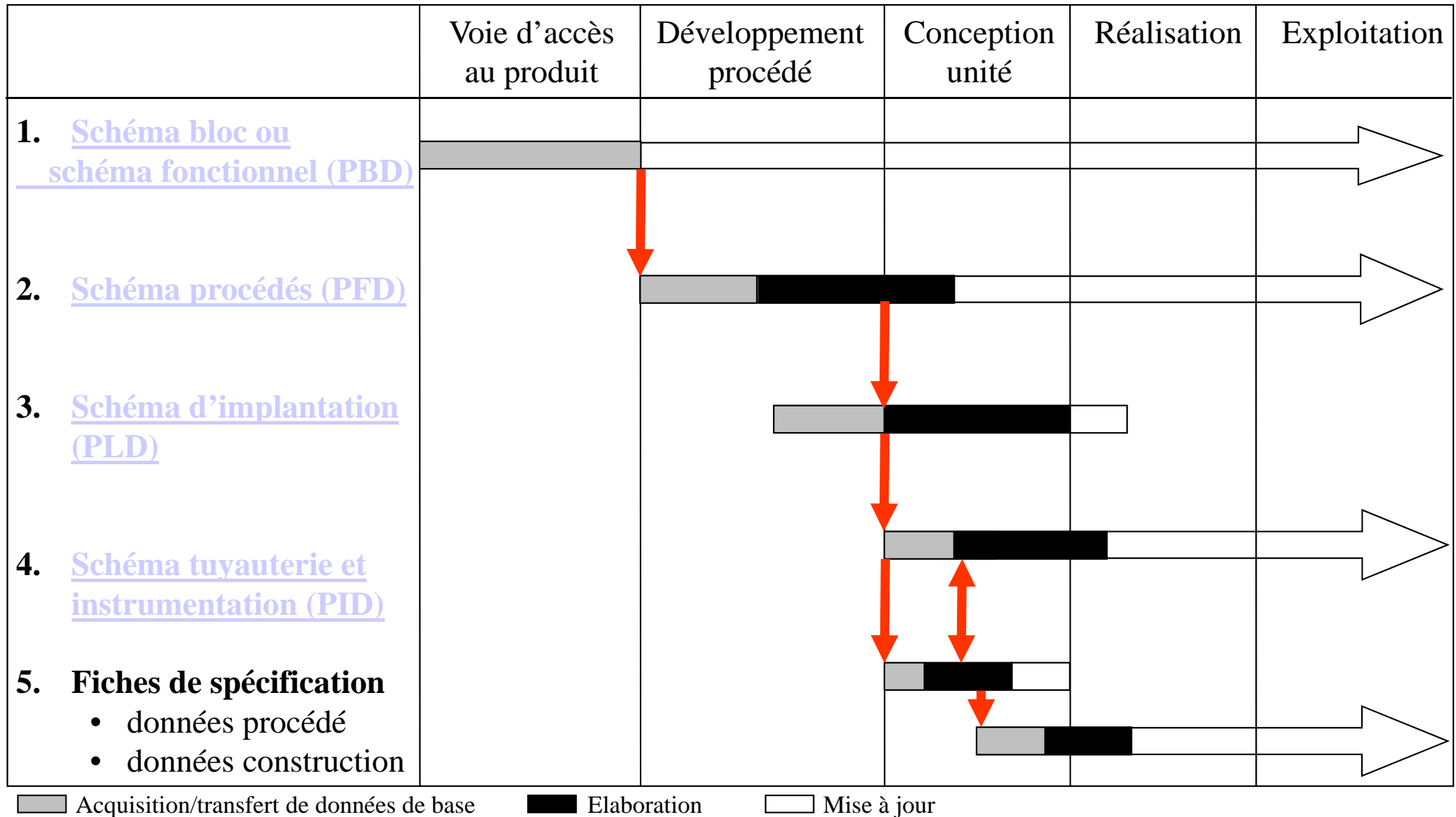


## Process and plant design : différents types de diagrammes utilisés

- **PBD** : process block diagrams (schémas bloc)  
1 bloc = 1 opération unitaire ou groupe d'opérations unitaires
- **PFD** : process flow diagrams (schémas de circulation des fluides)  
représentation détaillée et symbolique des équipements, tuyauteries et utilités
- **PLD** : process layout diagrams (schémas d'implantation globale)  
positionnement des équipements de procédé dans l'usine/atelier de fabrication
- **PCD** : process control diagrams (schémas de contrôle/commande)  
positionnement des organes de régulation et leurs liens avec les capteurs
- **PID** : process instrumentation and piping diagrams (schémas tuyauteries et instrumentation)  
type et localisation de l'instrumentation, type et connections des tuyauteries

# Différents types de schémas et phasage en industries de process

(d'après M. Auroy, Techniques de l'Ingénieur)



## **Le diagramme de fabrication par schéma blocs** *(eng. : PBD – Process Block Diagram)*

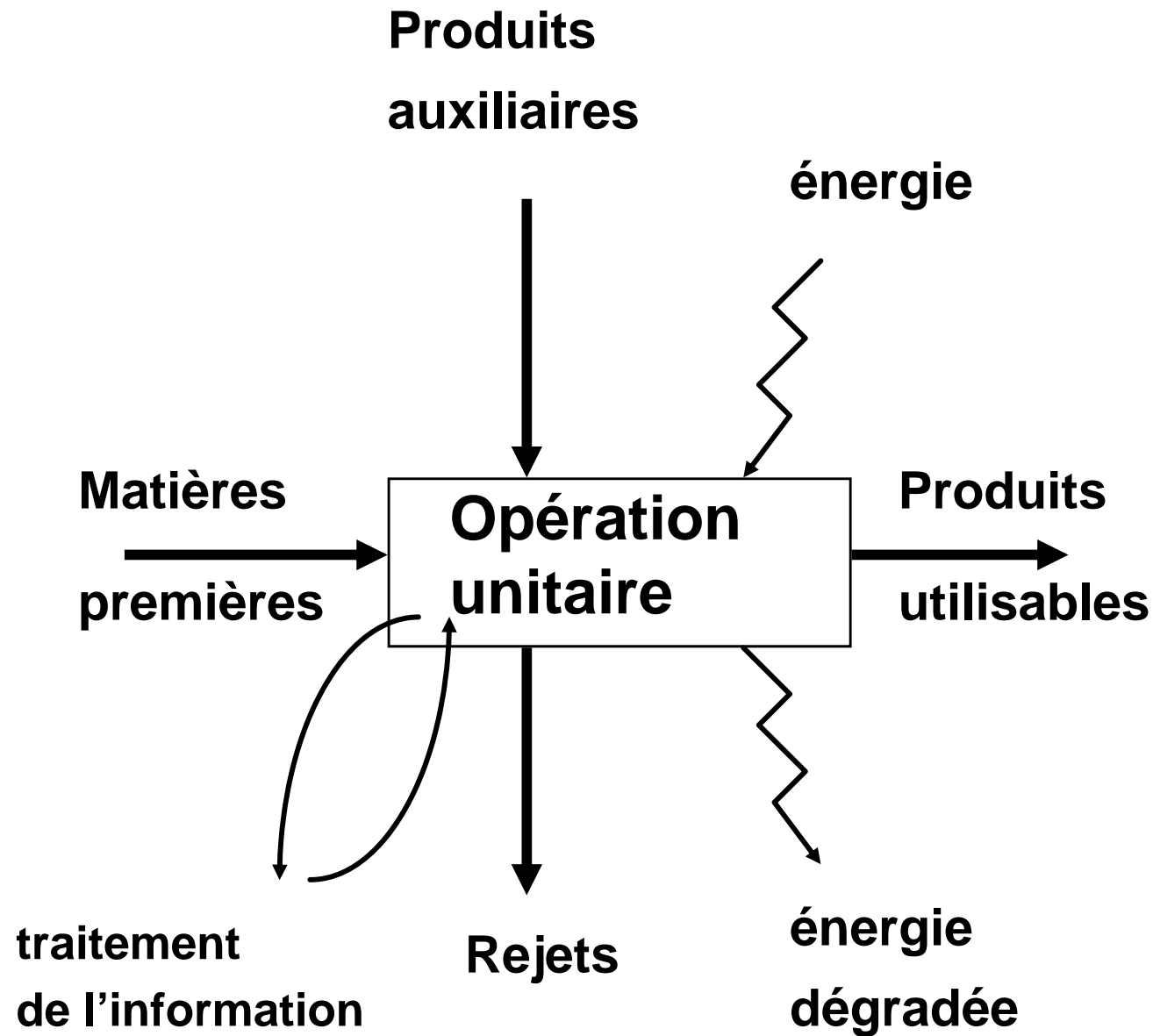
Description des étapes chimiques et physiques du procédé et des flux matière, en allant des matières premières aux produits finis

- 1 bloc = 1 fonction à réaliser (1 opération unitaire ou un groupe d'opérations unitaires)
- liaisons entre bloc (traits + flèche) = flux de matière

Organisation séquentielle et modulaire de la production, où sont clairement identifiés :

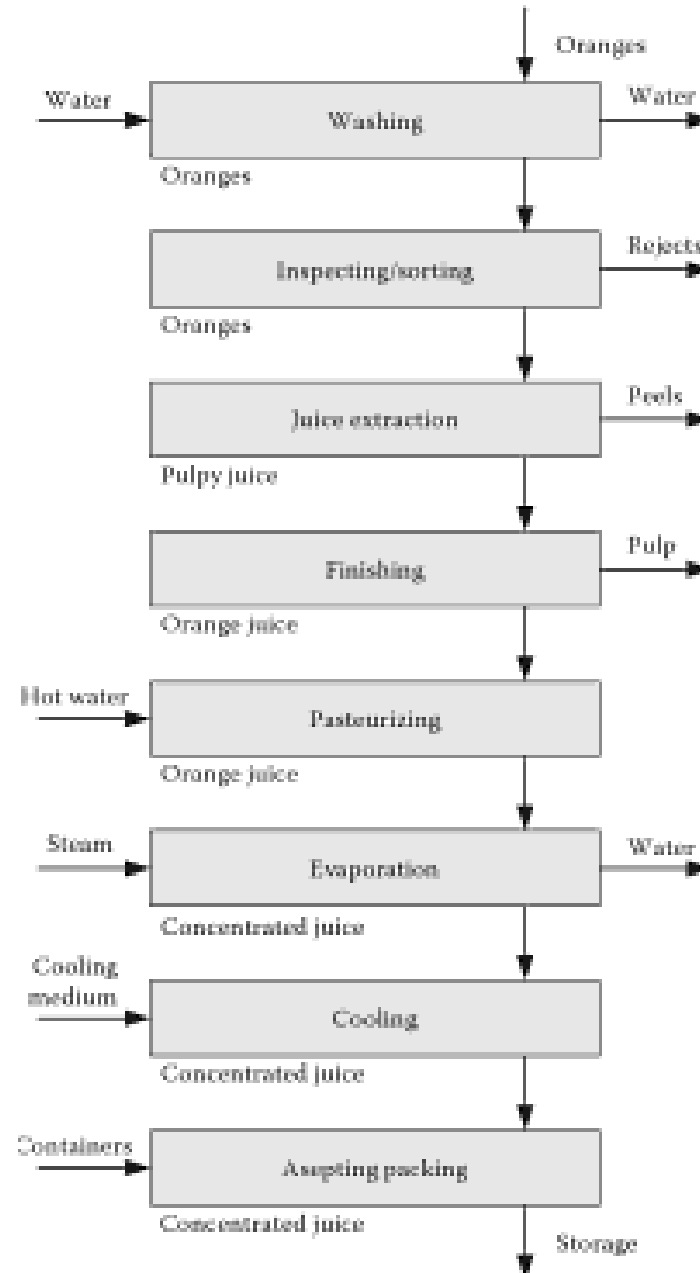
- les produits
  - matières premières et produits auxiliaires
  - produits intermédiaires
  - produits finis, sous-produits, déchets, effluents (rejets)
- les interventions sur ces produits (et non les technologies)
  - réception, opérations unitaires, conditionnement, stockage, expédition
- les flux (continus, discontinus)
  - flux de matière
  - flux d'énergie
  - flux d'informations

## Le schéma bloc



# PBD : exemple pour le concentré de jus d'orange

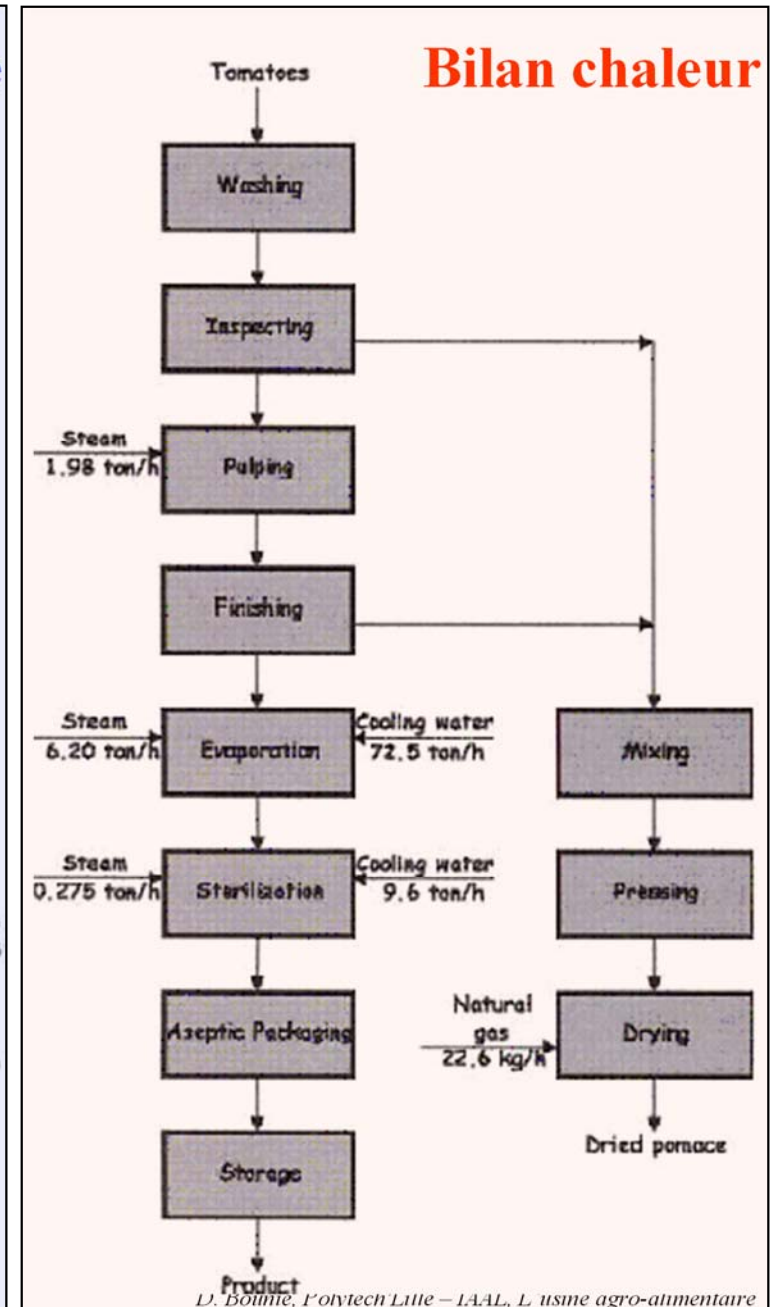
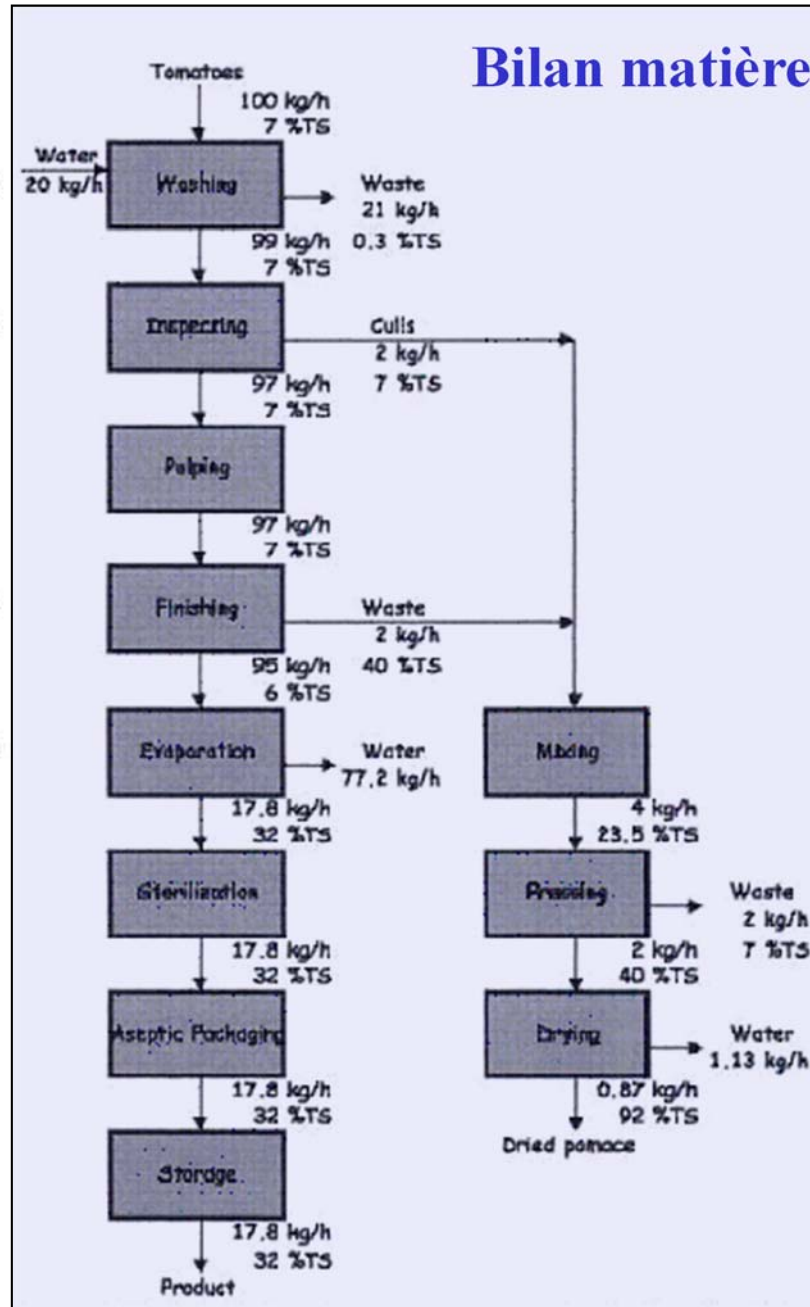
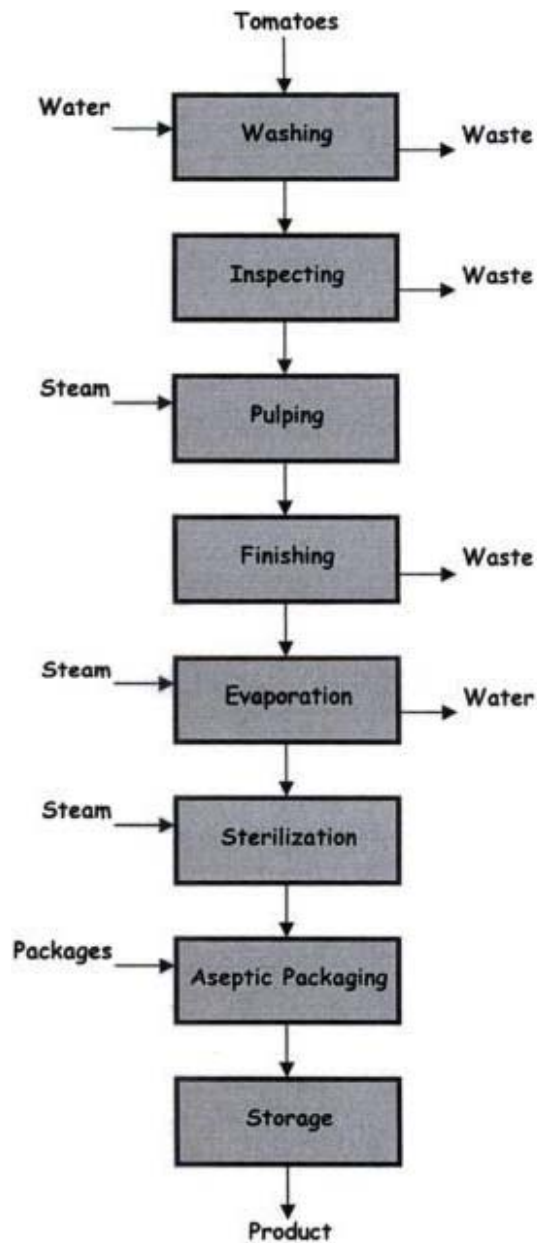
(Saravacos et Marouli)s et, 2011)



# PBD : exemple pour le concentré de tomate

## application aux bilans de matière et de chaleur

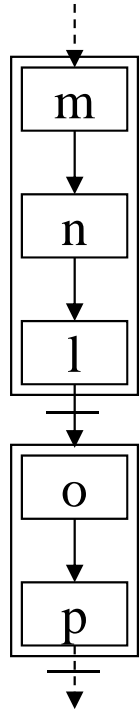
(Maroulis et Saravacos, 2003)





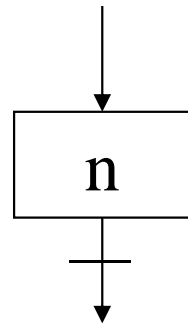
# Schéma bloc : décomposition fonctionnelle et transitions

**Diagramme de niveau 0**



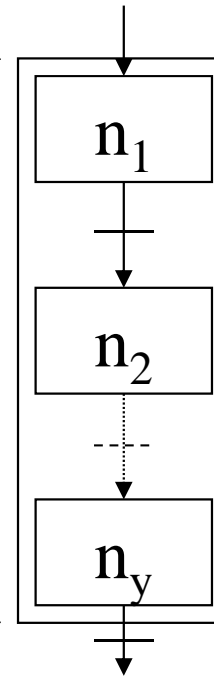
**Fonction d'ordre 0 :**  
regroupement fonctionnel de fonctions d'ordre 1 présentant un certain niveau d'analogie de structure et/ou de mission (ex: logique d'atelier)

**Diagramme de niveau 1**



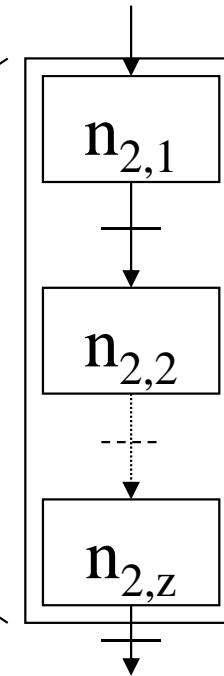
**Fonction d'ordre 1 :**  
macro-fonction élémentaire provoquant une transformation majeure, reconnue sans équivoque comme telle, de l'état physique, chimique et/ou biologique d'un produit (composition, structure, expression sensorielle) ; une fonction d'ordre 1 peut se décomposer en une seule ou plusieurs fonctions d'ordre 2

**Diagramme de niveau 2**



**Fonction d'ordre 2 :**  
sous-fonction élémentaire obtenue par décomposition fonctionnelle d'une fonction d'ordre 1 ; cette décomposition doit générer un ensemble de sous-fonctions nécessaires et suffisantes à la réalisation des objectifs assignés à la fonction initiale

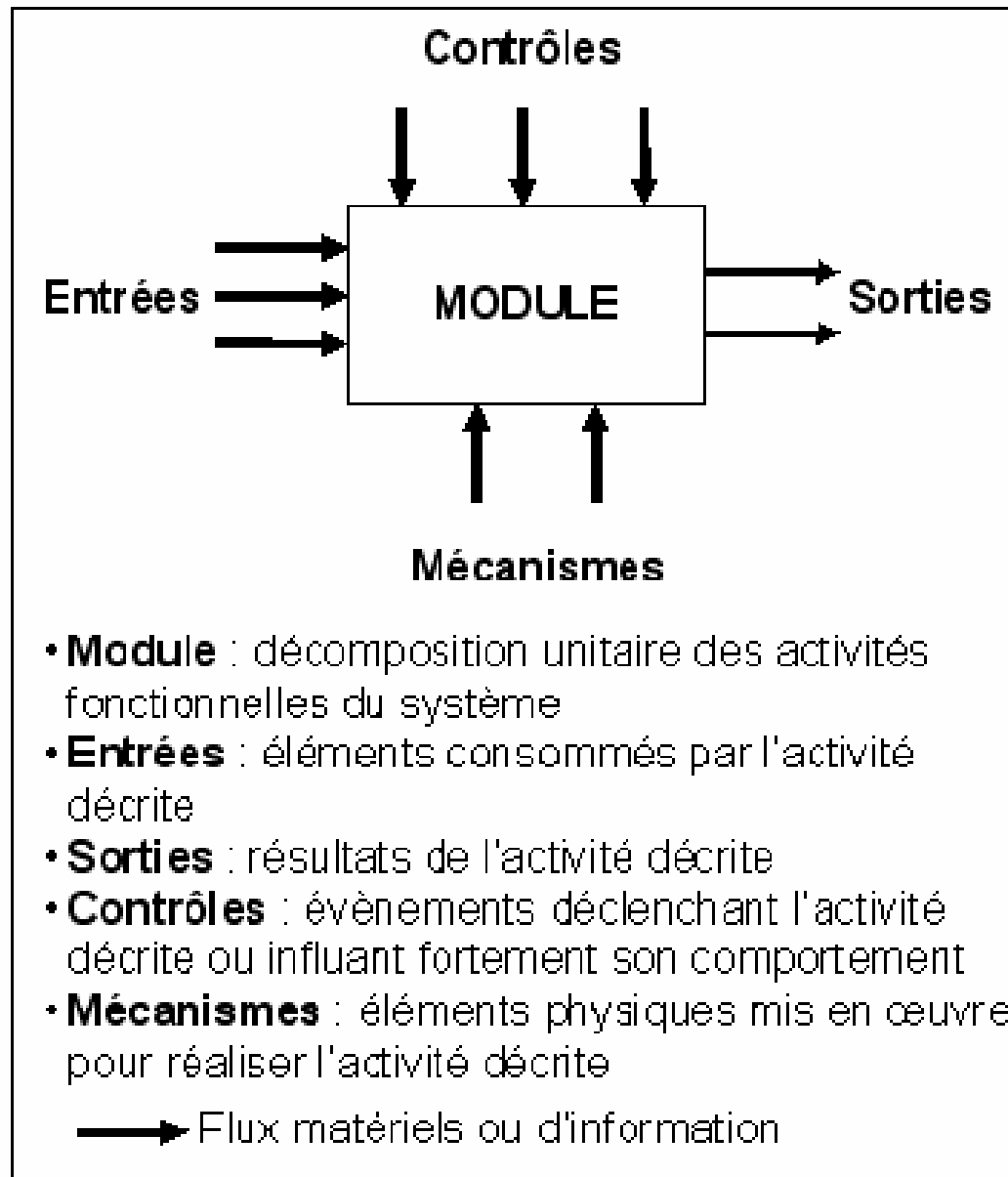
**Diagramme de niveau 3**



**Fonction d'ordre 3 :**  
opération élémentaire obtenue par décomposition technologique d'une fonction d'ordre 2 ; l'enchaînement des opérations liées à une fonction d'ordre 2 permet de mettre en œuvre cette fonction dans un contexte donné et selon un mode opératoire défini ; selon le contexte et le mode opératoire retenus, il existe plusieurs possibilités de décomposition technologique d'une même fonction d'ordre 2

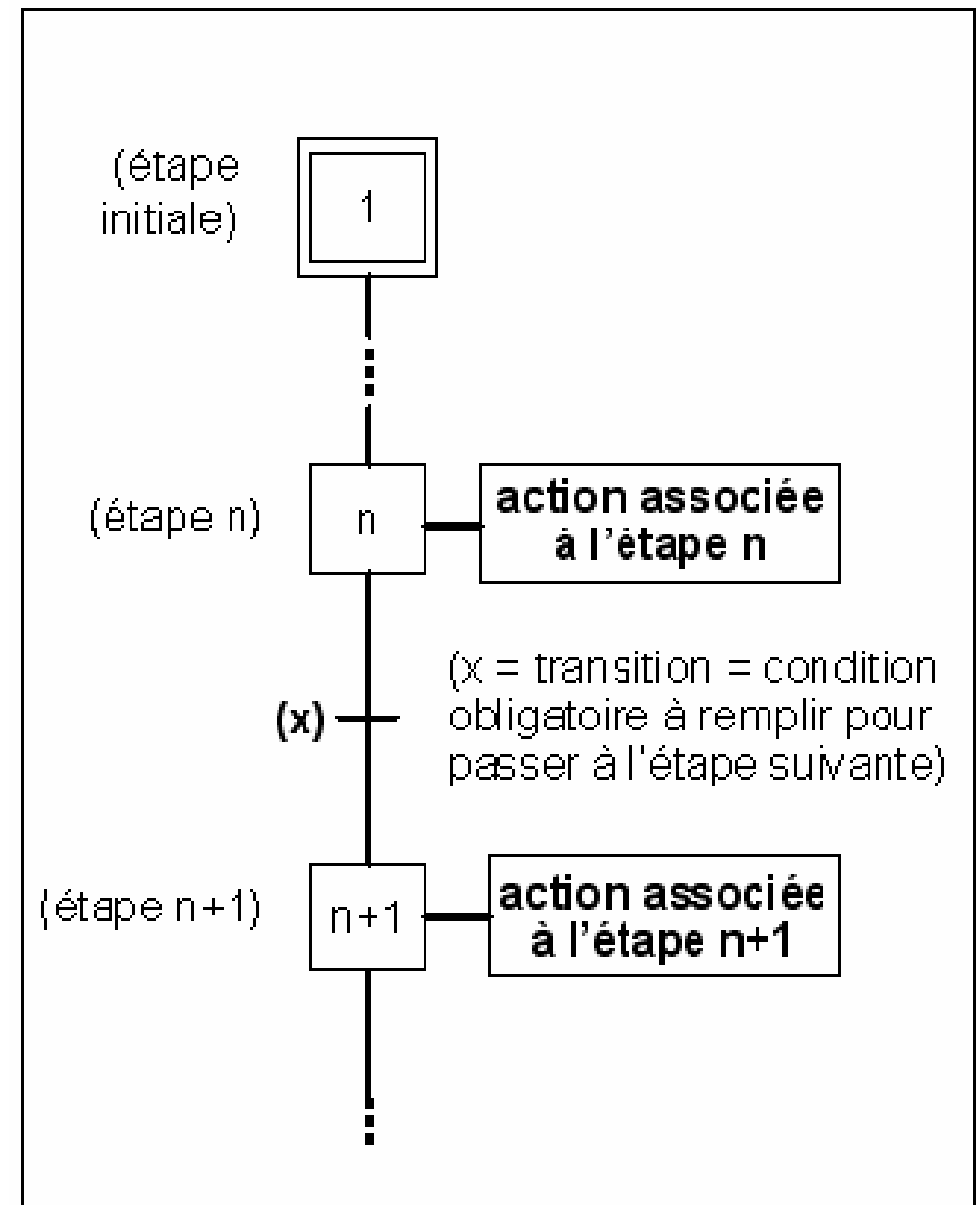
## Actigramme SADT

Analyse fonctionnelle modulaire et hiérarchisée

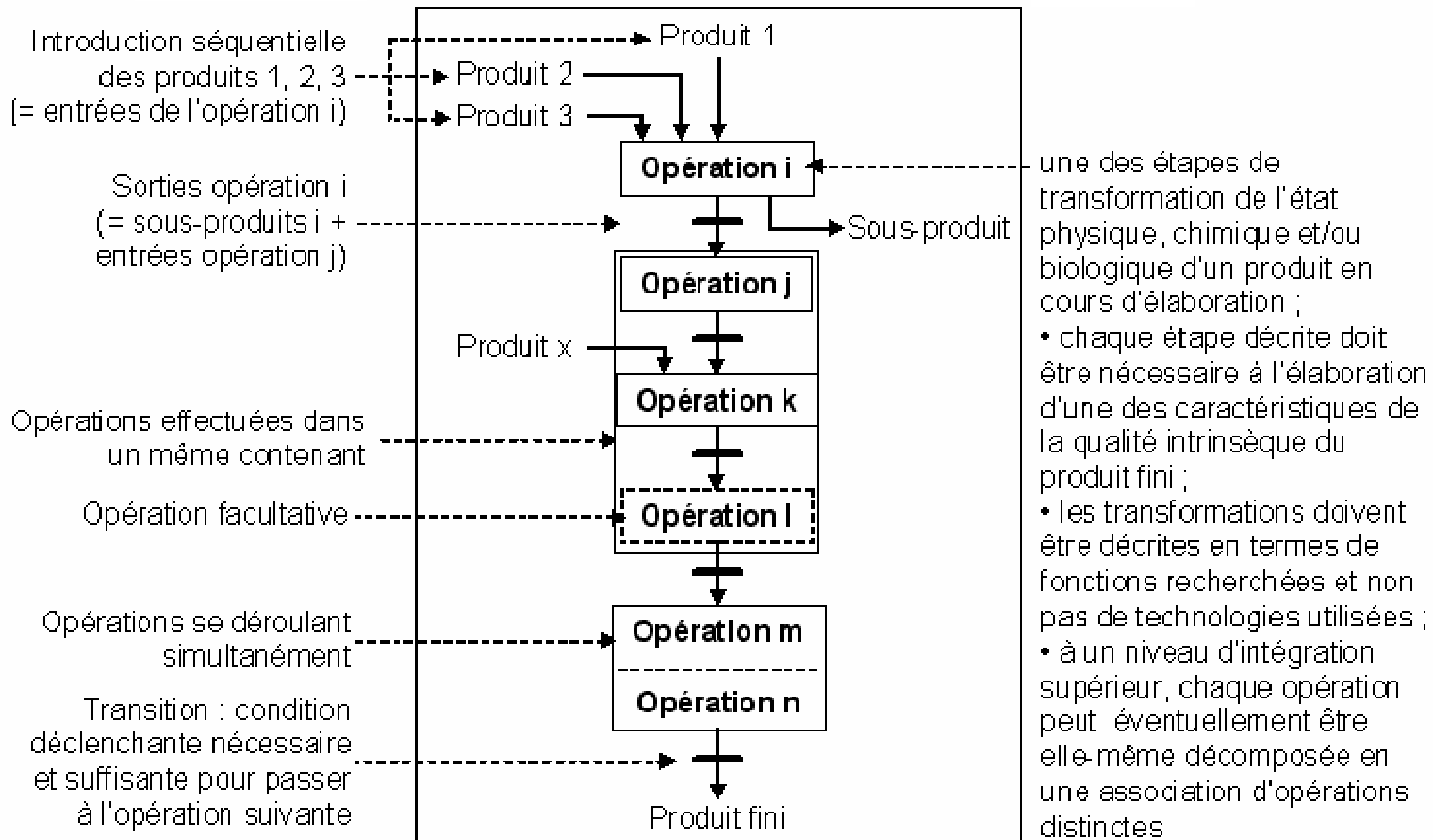


## Schéma Grafcet

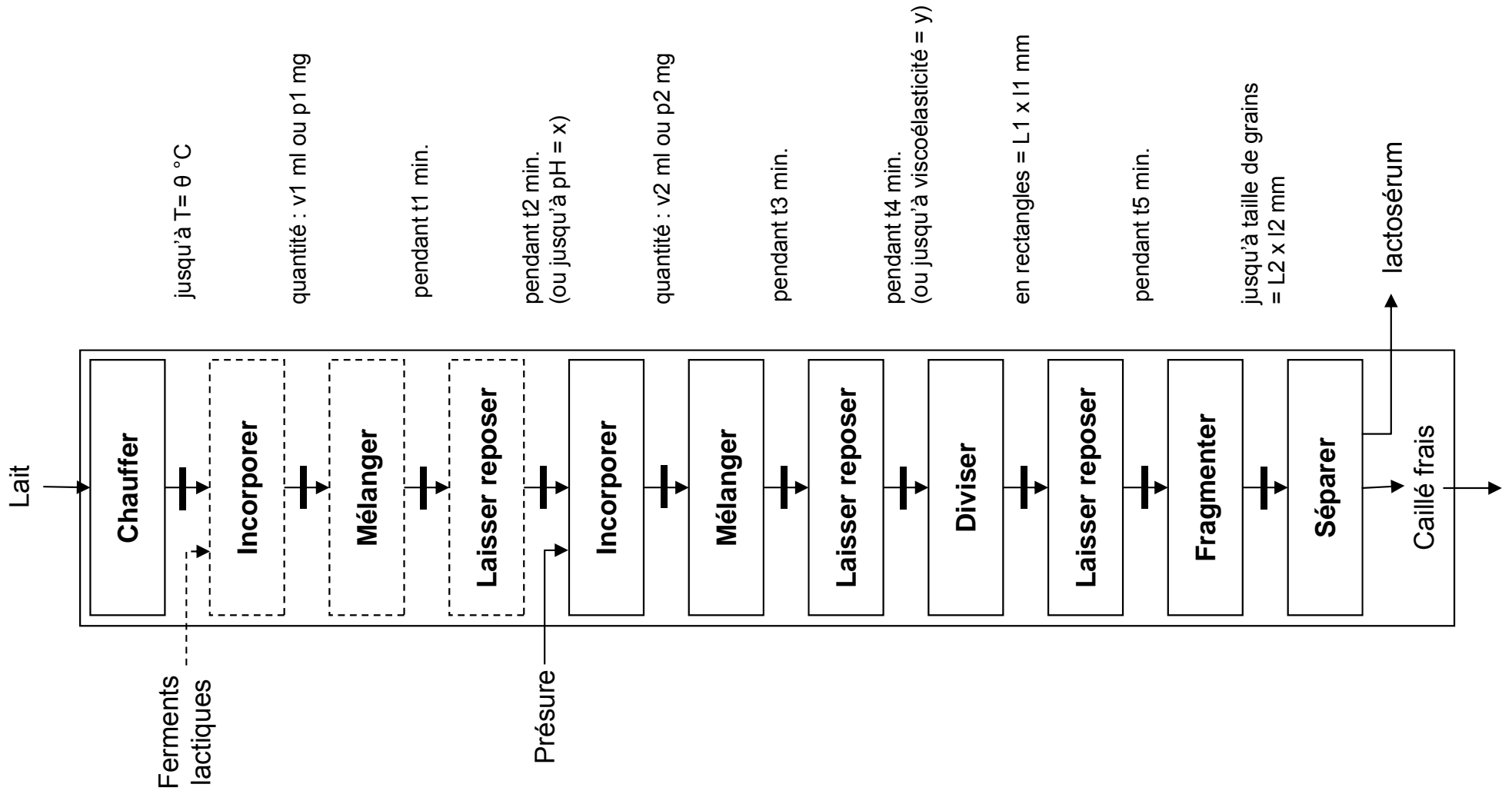
Représentation séquentielle de systèmes logiques de commande



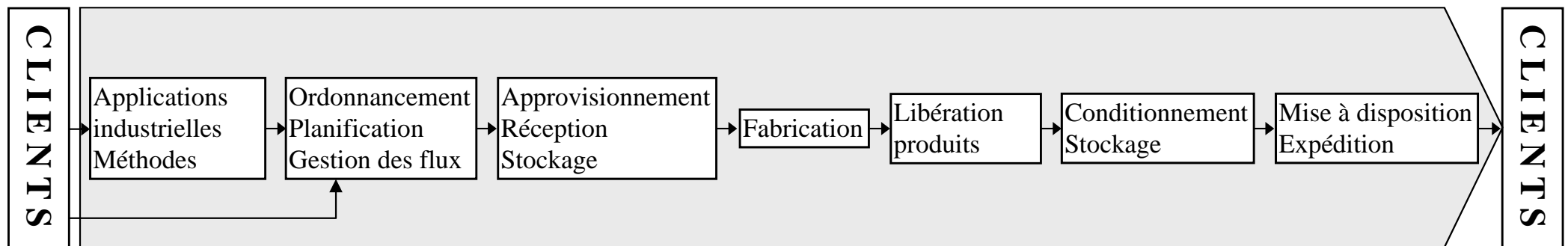
## Diagramme fonctionnel de fabrication



# Exemple : caillage en cuve d'un fromage



## Niveau 0 : des processus de réalisation aux processus de transformation



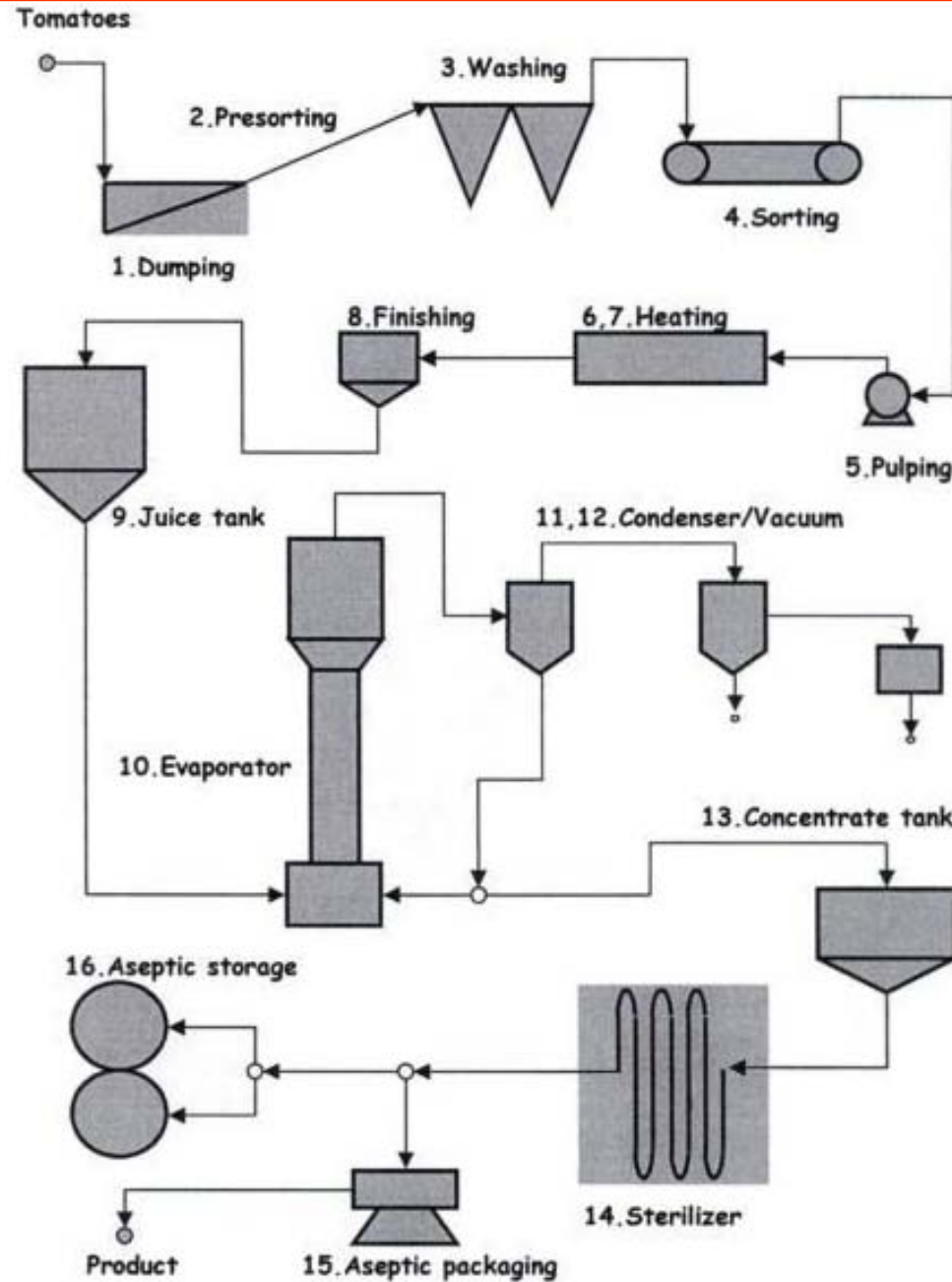
## Schéma procédé ou plan de circulation des fluides (*engl. : PFD - Process Flow Diagram, process flowsheet*)

Représentation sous forme symbolique :

- des équipements du procédé (repris dans une liste annexe, avec les données de pré dimensionnement)
- des liaisons entre équipements = flux mis en œuvre
- des utilités mises en œuvre
- (des boucles de contrôle et des analyseurs ; cf. PCD)

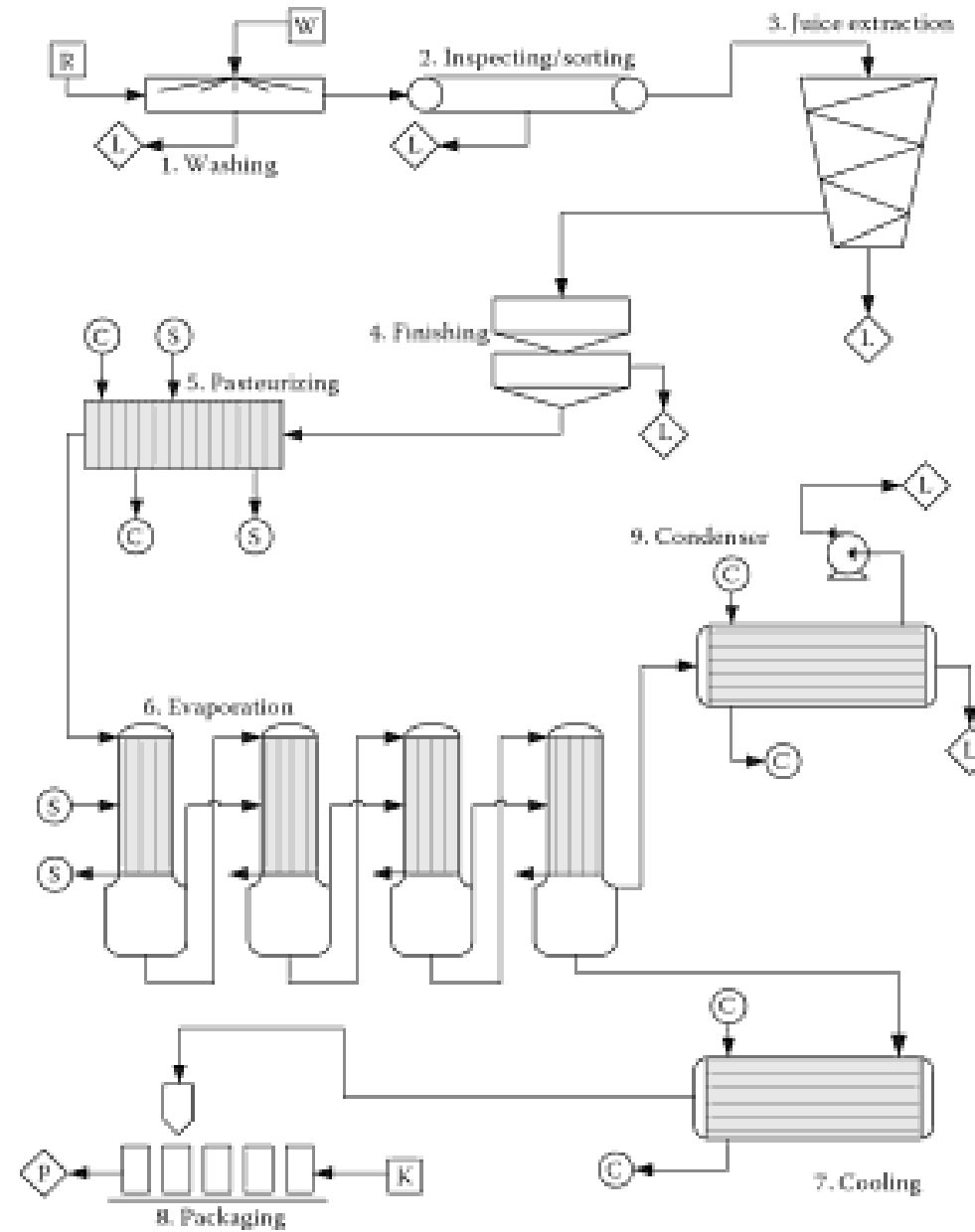
# PFD : exemple pour le concentré de tomate

(Marouli)s et Saravacos, 2003)



# PFD : exemple pour le concentré de jus d'orange

(Saravacos et Marouli)s et, 2011)



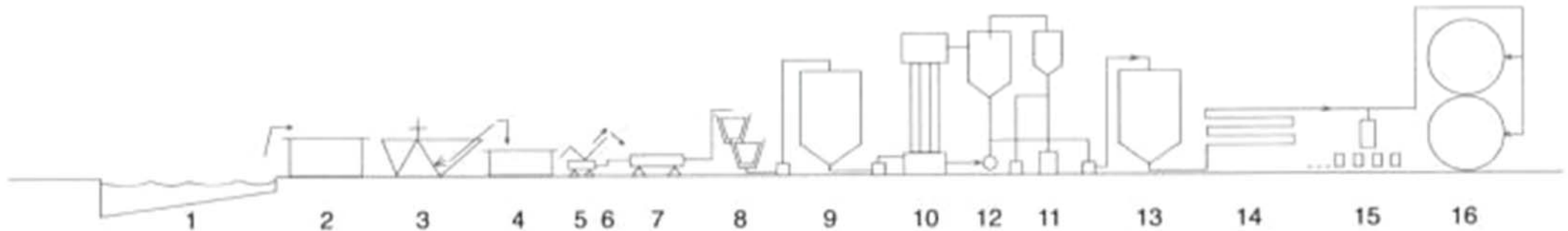


## Schémas d'implantation (*engl. : PLD - Process Layout Diagram*)

- plans de masse succinct (= projection au sol)
- schémas altimétriques des équipements et de leurs positions respectives (= coupe verticale)
- plans 3D (combinaisons projection au sol + coupe verticale)

# PLD en élévation : exemple pour le concentré de tomate

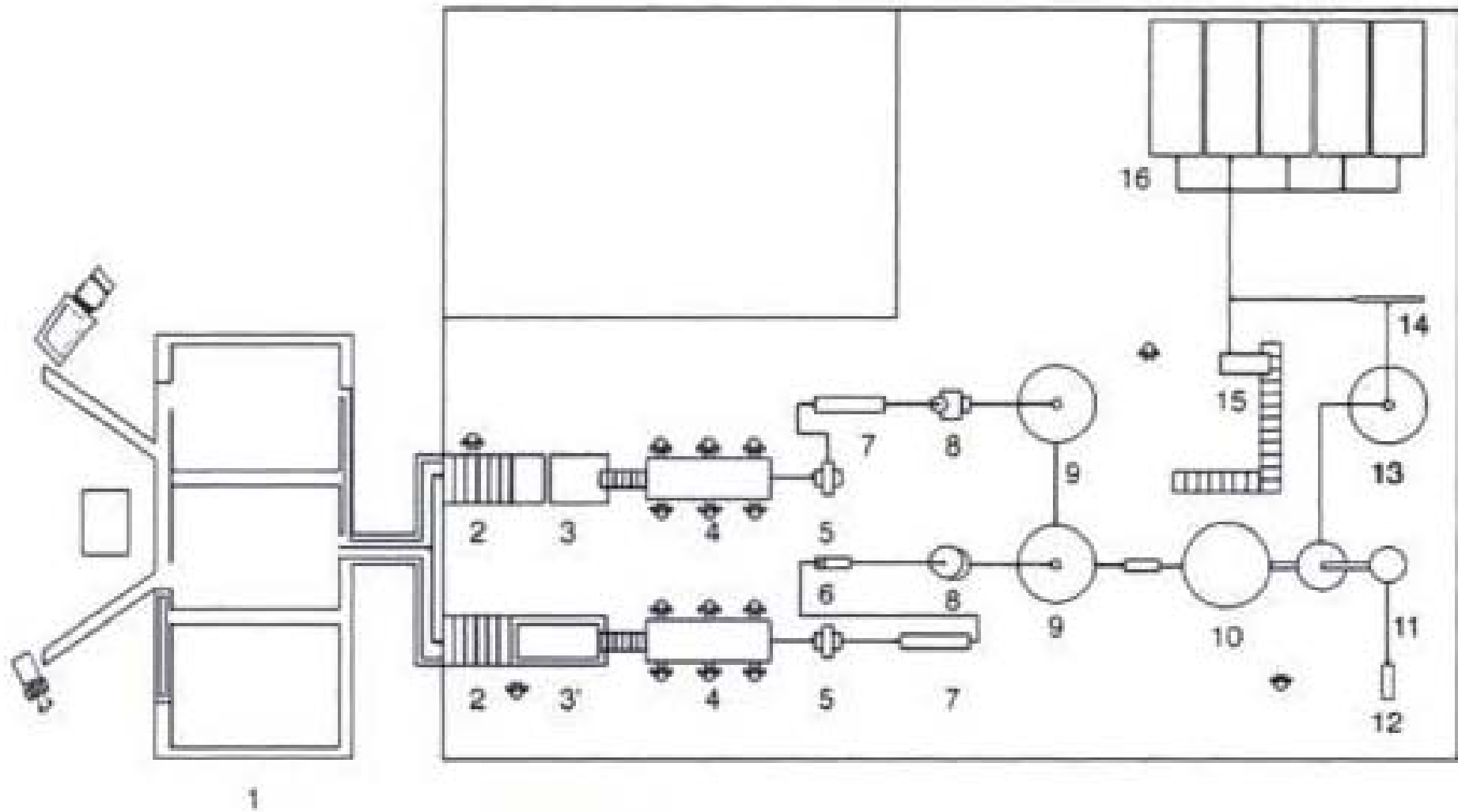
(Saravacos, Harvey et Kostaropoulos, 2003)



- |    |                          |     |                      |
|----|--------------------------|-----|----------------------|
| 1. | Water Basin              | 9.  | Juice Tank           |
| 2. | Preselection and Loading | 10. | Evaporator           |
| 3. | Washing                  | 11. | Barometric Condenser |
| 4. | Sorting                  | 12. | Vacuum Pump          |
| 5. | Crushing/Pulping         | 13. | Concentrate Tank     |
| 6. | Heating                  | 14. | Sterilization        |
| 7. | Heating                  | 15. | Aseptic Packaging    |
| 8. | Finishing                | 16. | Aseptic Storage      |

# PLD par projection au sol : exemple pour le concentré de tomate

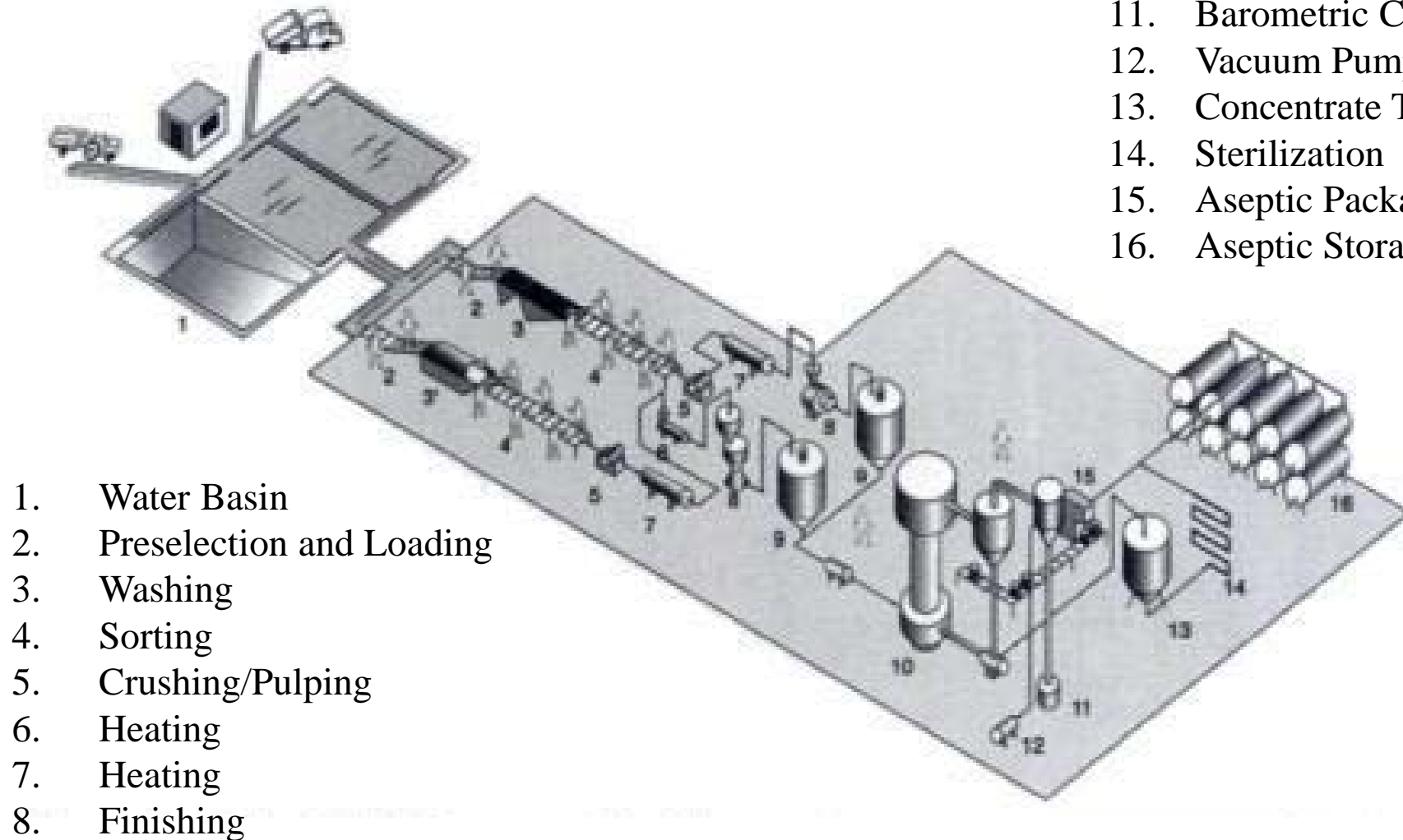
(Saravacos, Harvey et Kostaropoulos, 2003)



- |    |                          |    |                  |     |                      |     |                   |
|----|--------------------------|----|------------------|-----|----------------------|-----|-------------------|
| 1. | Water Basin              | 5. | Crushing/Pulping | 9.  | Juice Tank           | 13. | Concentrate Tank  |
| 2. | Preselection and loading | 6. | Heating          | 10. | Evaporator           | 14. | Sterilization     |
| 3. | Washing                  | 7. | Heating          | 11. | Barometric Condenser | 15. | Aseptic Packaging |
| 4. | Sorting                  | 8. | Finishing        | 12. | Vacuum Pump          | 16. | Aseptic Storage   |

# PLD en 3D : exemple pour le concentré de tomate

(Saravacos, Harvey et Kostaropoulos, 2003)



1. Water Basin
2. Preselection and Loading
3. Washing
4. Sorting
5. Crushing/Pulping
6. Heating
7. Heating
8. Finishing

9. Juice Tank
10. Evaporator
11. Barometric Condenser
12. Vacuum Pump
13. Concentrate Tank
14. Sterilization
15. Aseptic Packaging
16. Aseptic Storage

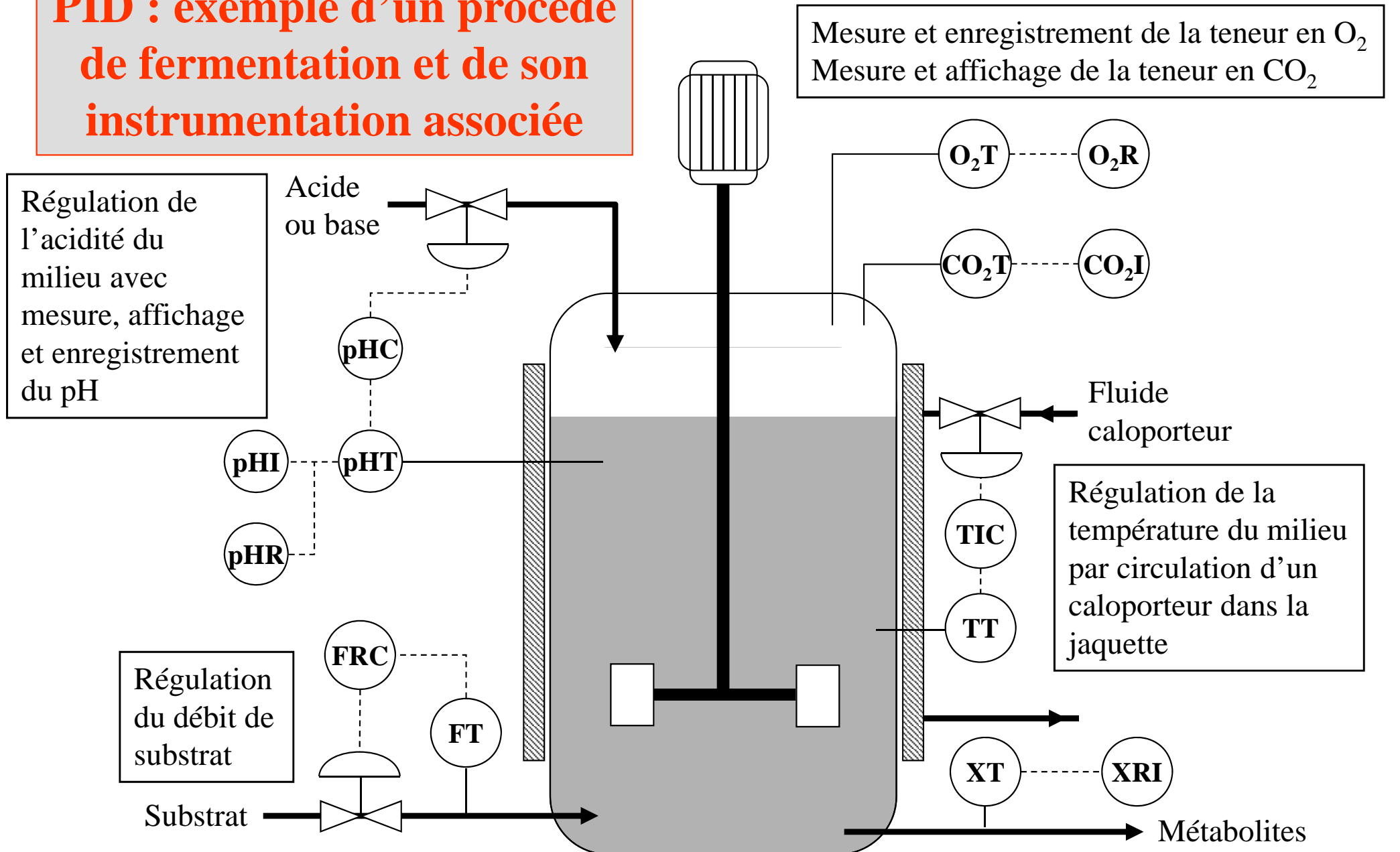


# Schéma canalisation et instrumentation ou schéma de construction (engl. : *PID - Pipe and Instrumentation Diagram* ou *mechanical flowsheet*)

Description graphique, sous forme symbolique, de l'unité de production :

- appareils et équipements
- tuyauterie / robinetterie
- instrumentation

# PID : exemple d'un procédé de fermentation et de son instrumentation associée



Régulation de l'acidité du milieu avec mesure, affichage et enregistrement du pH

Mesure et enregistrement de la teneur en O<sub>2</sub>  
 Mesure et affichage de la teneur en CO<sub>2</sub>

Régulation du débit de substrat

Régulation de la température du milieu par circulation d'un caloporteur dans la jaquette

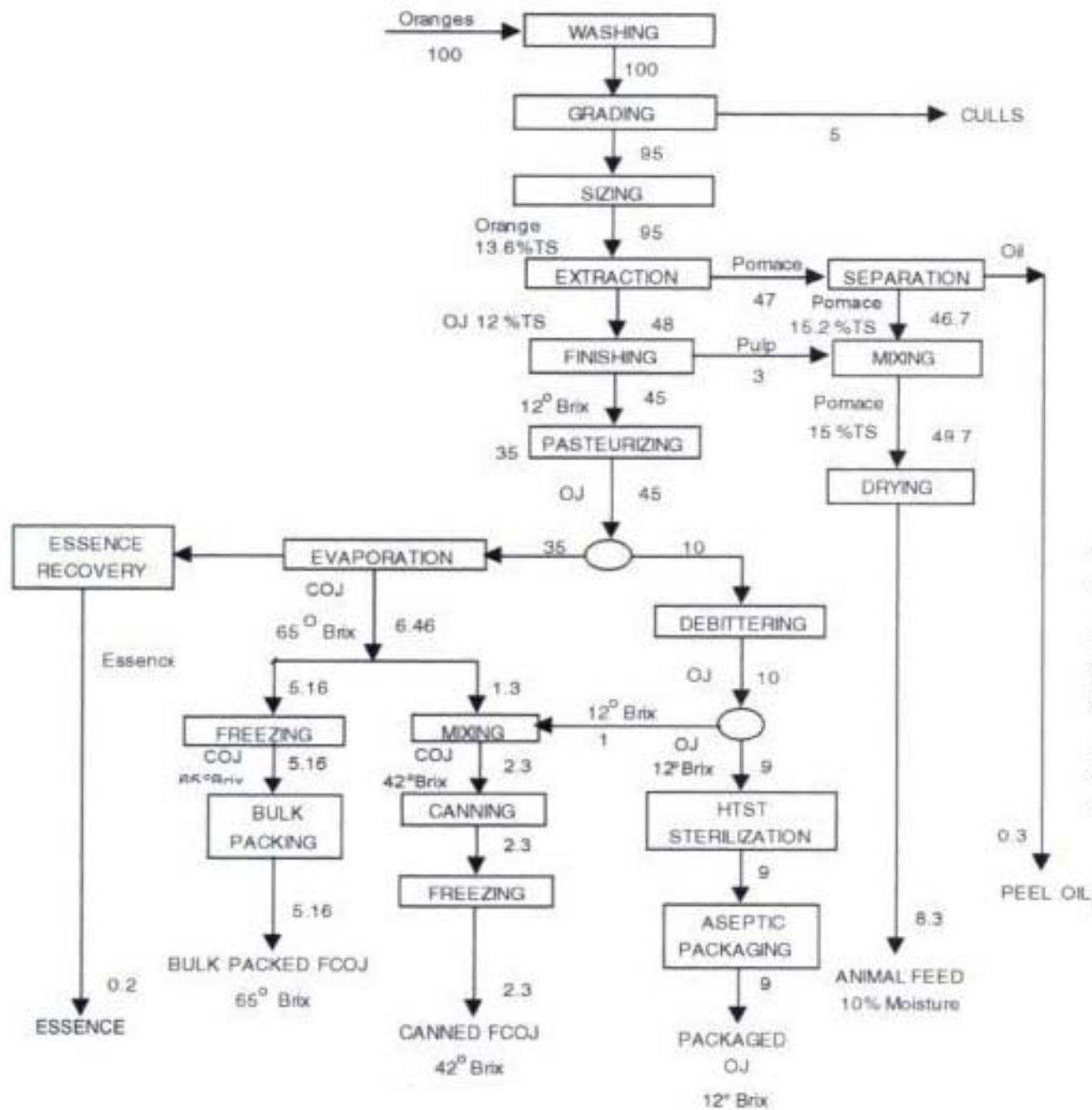
Mesure, enregistrement et affichage d'un paramètre X du débit de métabolites

→ Flux de produits  
 ○ Fonction d'instrumentation (mesure, affichage, régulation)  
 - - - - - Liaison électrique



# PBD : exemple pour les oranges

(Saravacos, Harvey et Kostaropoulos, 2003)



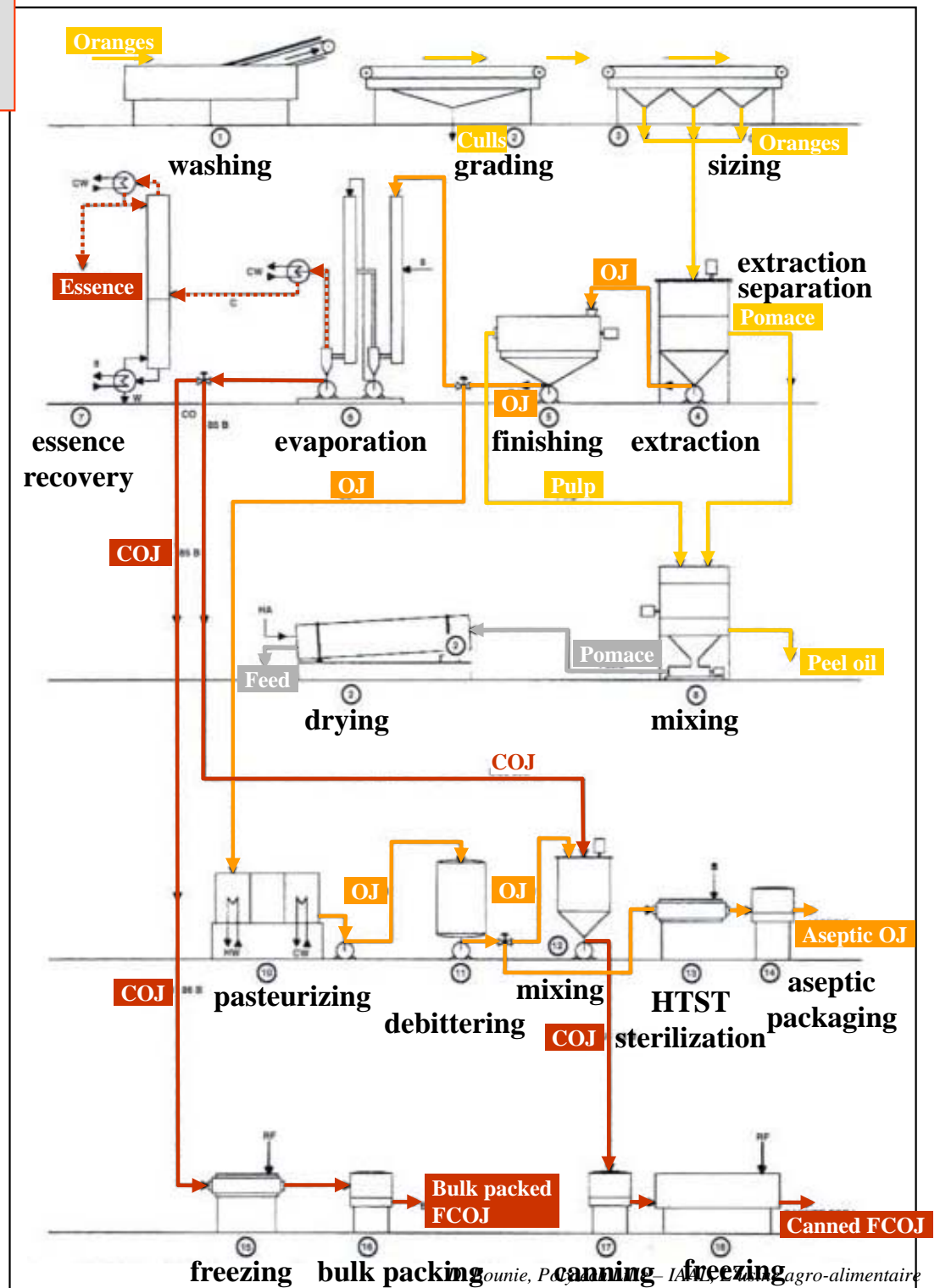
# PFD : exemple pour les oranges

(Saravacos, Harvey et Kostaropoulos, 2003)

OJ : orange juice

COJ : concentrated orange juice

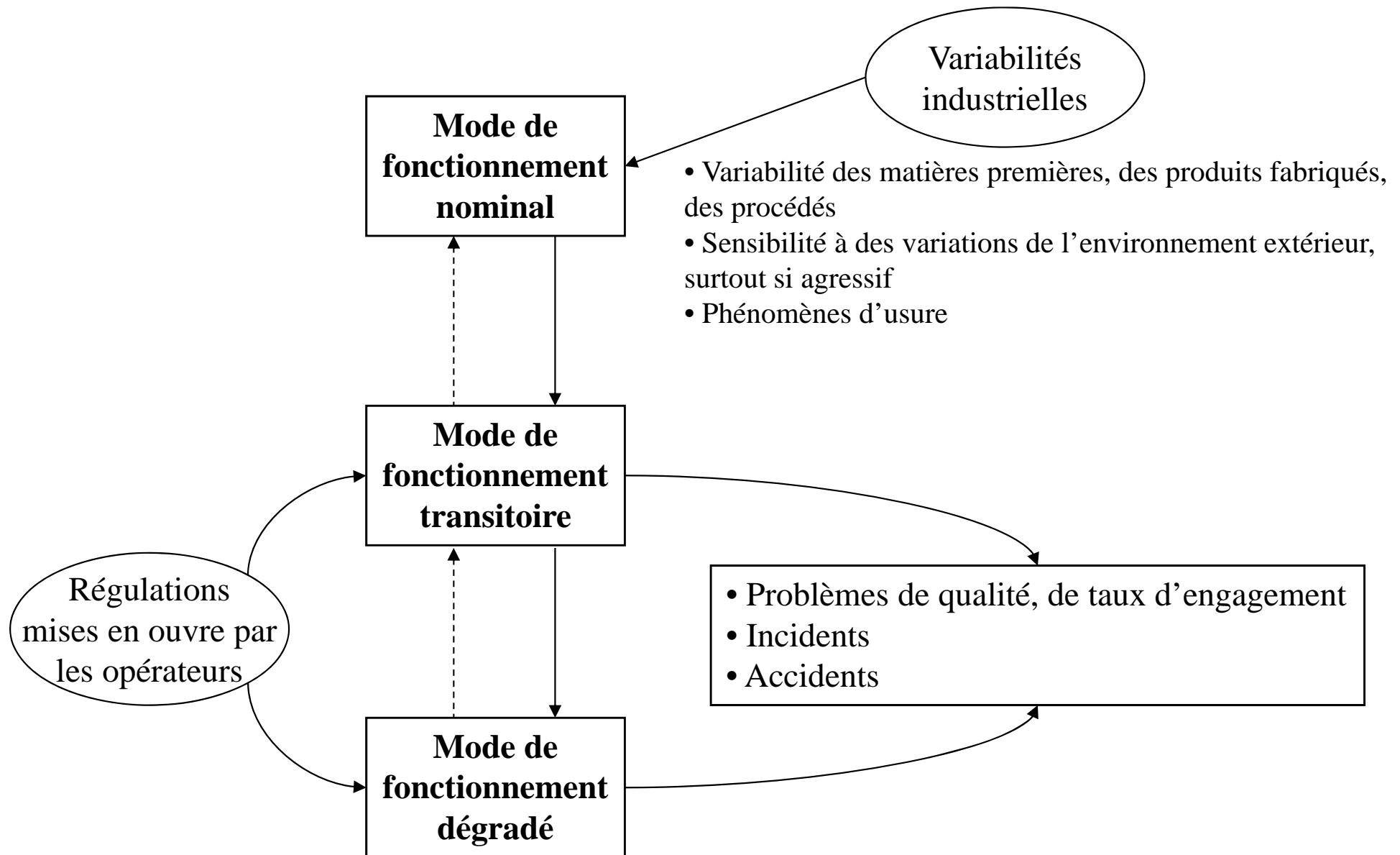
FCOJ : freezed concentrated orange juice



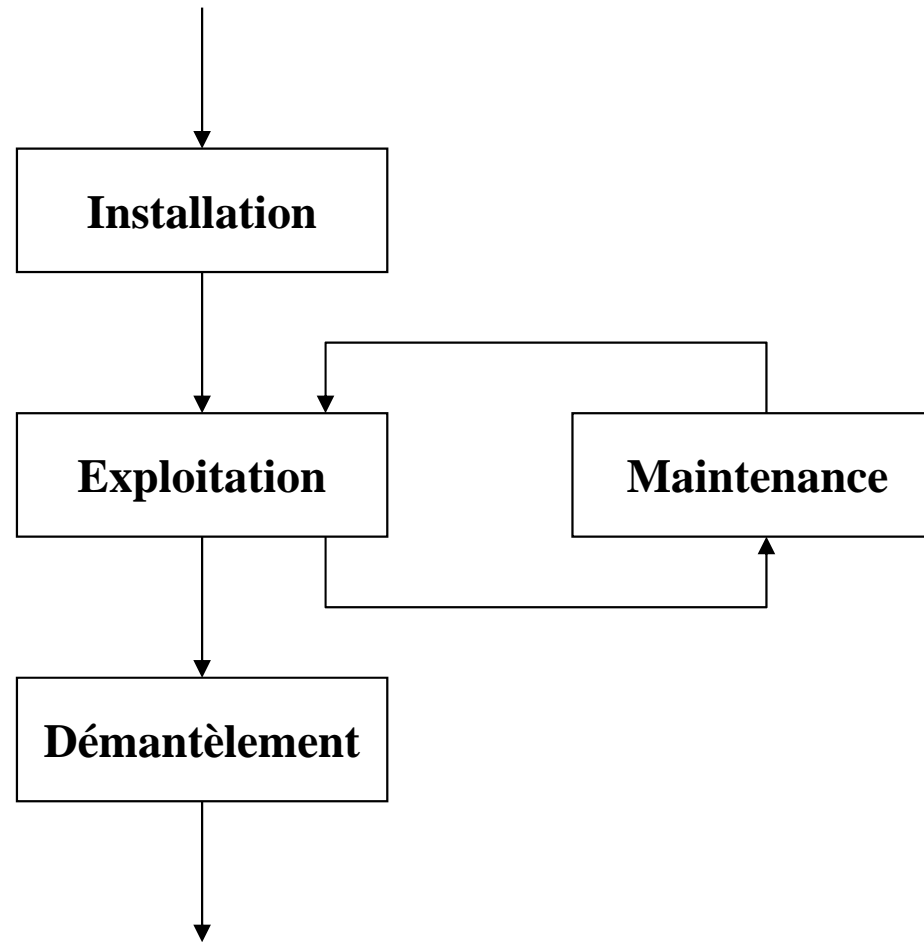


# Différents modes de fonctionnement d'un système de production et savoir-faire correspondants

(d'après Carrigou et Garbadelle, 2002)



# Modèle récursif de situations de vie

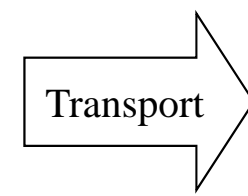
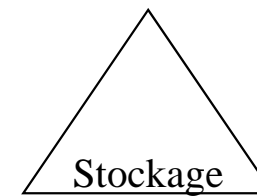
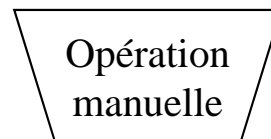
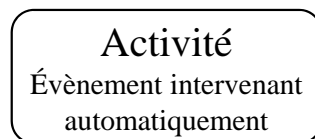
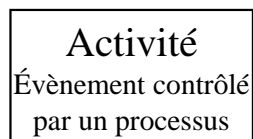


# Diagrammes de fabrication

- Recommandations pour la rédaction de diagrammes sous Microsoft Powerpoint ([fichier Word](#), [fichier pdf](#))
- [Masque de saisie au format Powerpoint](#)
- Exemple de diagrammes: camembert au lait crû ([fichier Powerpoint](#), [fichier pdf](#))

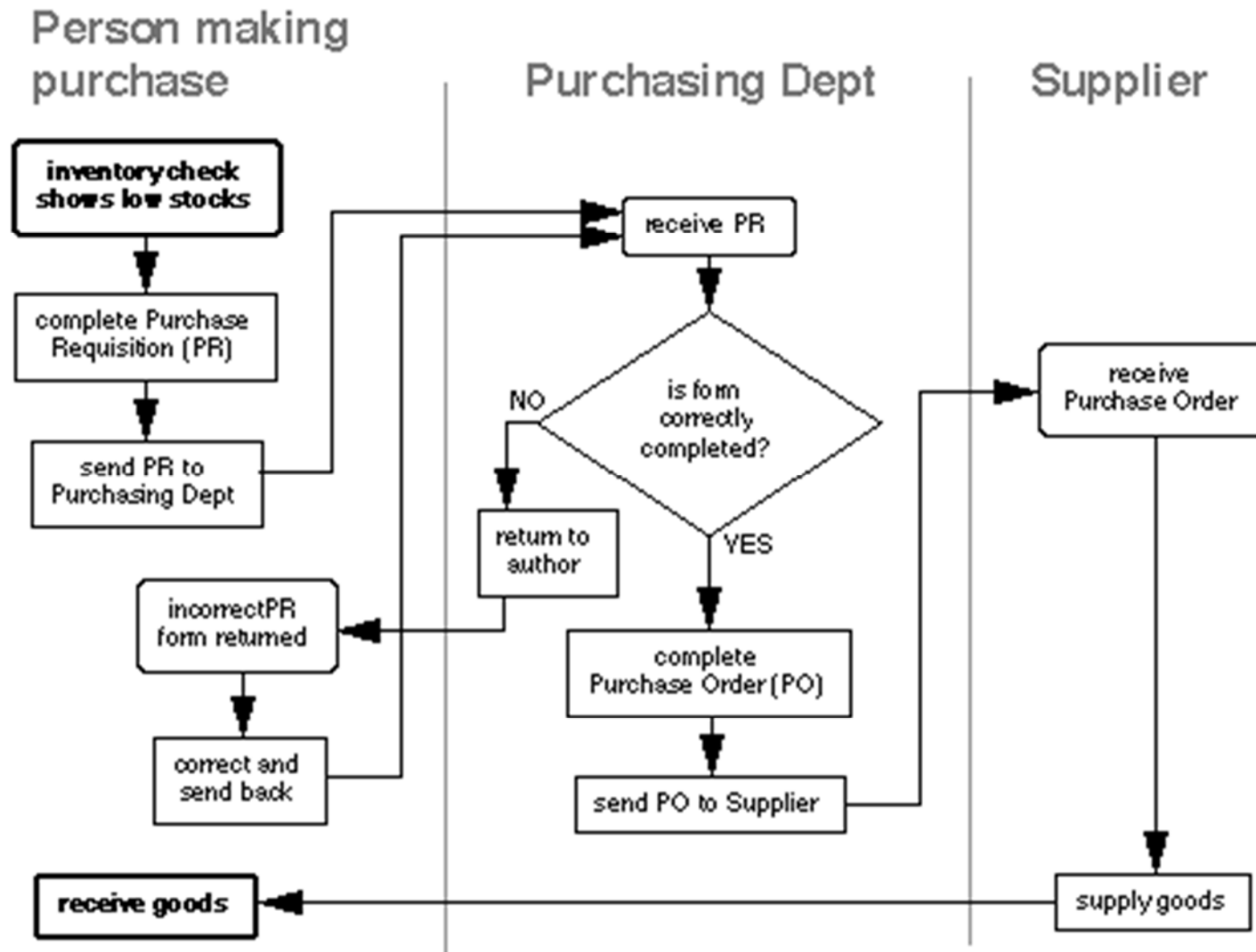
# Logigramme : symboles

<http://deming.ces.clemson.edu/pub/tutorials/qctools/flowm.htm>



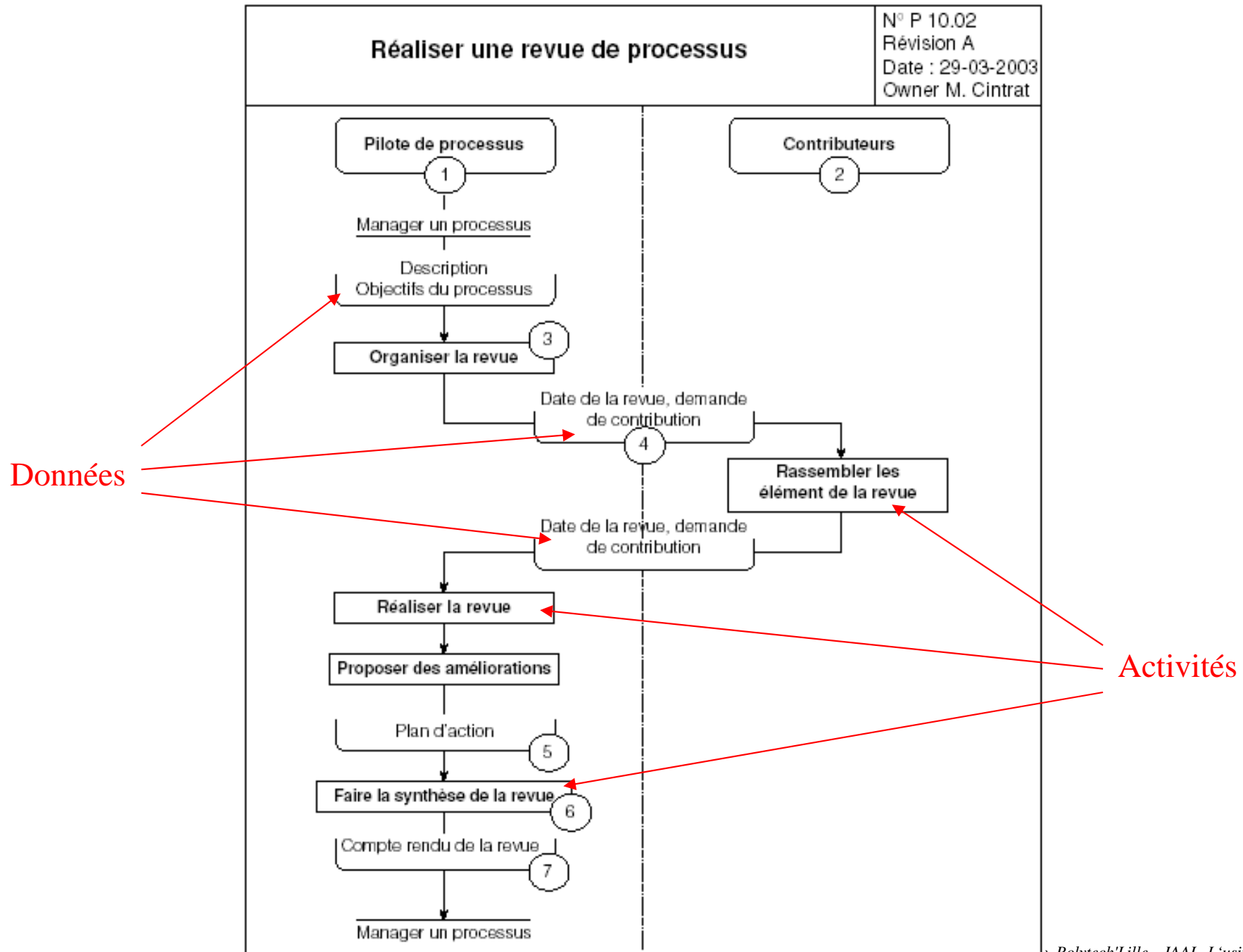
## Diagramme de déploiement

Organisation du diagramme (de flux ou du logigramme) par colonnes :  
Chaque colonne représente un département ou une personne impliquée dans le processus



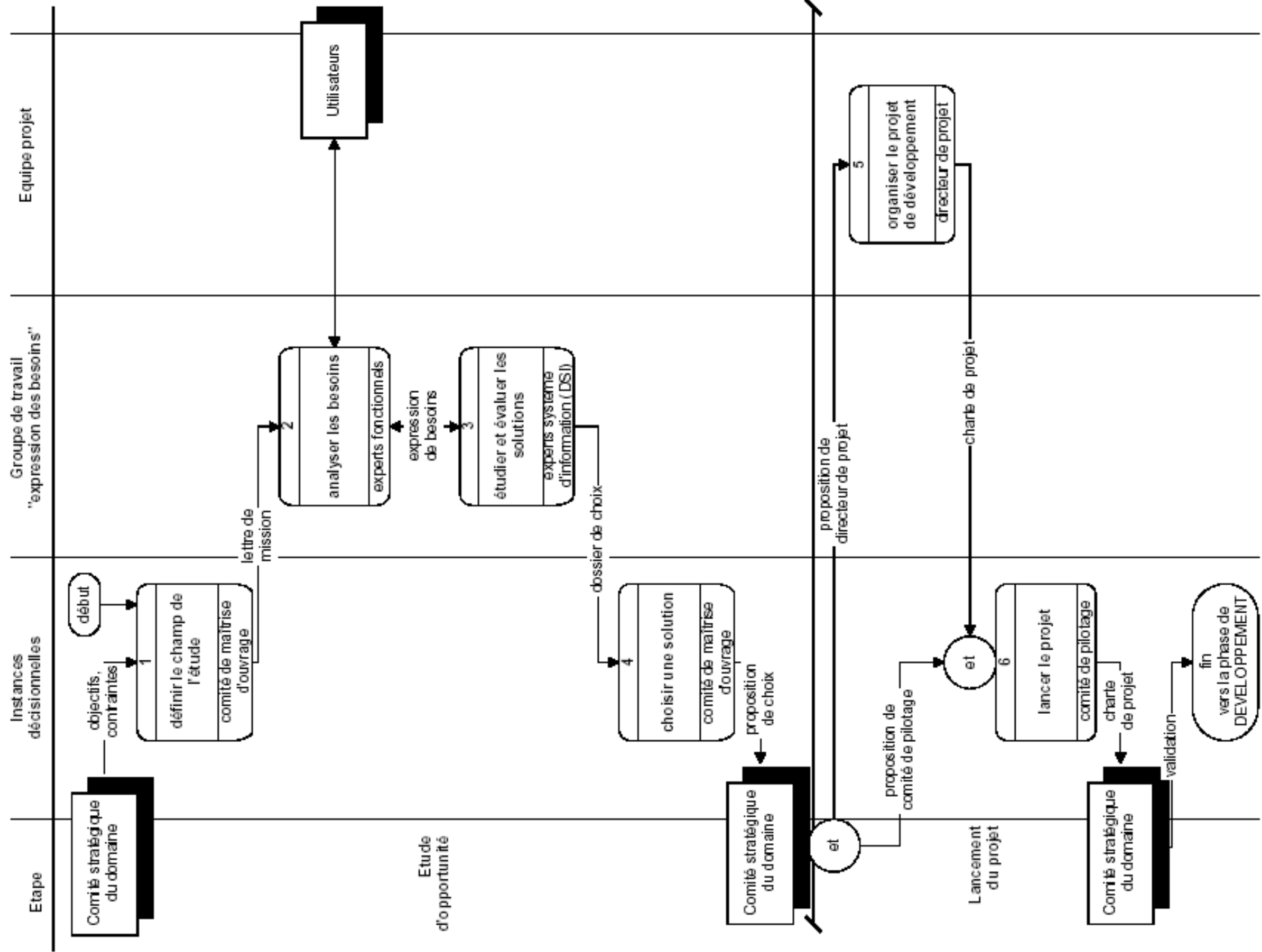
# Exemple de logigramme de déploiement : réalisation d'une revue de processus

(d'après Cattan et al., 2003)



# Exemple de développement d'un système d'information

(CNRS, 2000)



# Qualigramme

cf. : BERGER C. et Guillard S.

**La rédaction graphique des procédures - Démarche et techniques de description des processus.**  
AFNOR, 2000