



**HAL**  
open science

## **Evaluation environnementale par analyse de cycle de vie de procédés de fabrication de formules infantiles**

Emma Saint-Preux, Juliane Florury, Nadine Leconte, Amélie Deglaire, Fanny Guyomarc'H, Geneviève Gésan-Guiziou

### ► **To cite this version:**

Emma Saint-Preux, Juliane Florury, Nadine Leconte, Amélie Deglaire, Fanny Guyomarc'H, et al.. Evaluation environnementale par analyse de cycle de vie de procédés de fabrication de formules infantiles. Séminaire annuel du réseau ACV à INRAE, Jan 2024, Rennes, France. <hal-04754147>

**HAL Id: hal-04754147**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04754147v1>**

Submitted on 25 Oct 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# ➤ EVALUATION ENVIRONNEMENTALE PAR ANALYSE DU CYCLE DE VIE de PROCÉDES DE FABRICATION DE FORMULES INFANTILES

*Equipe: Emma Saint-Preux (Stage M1 UTC), Juliane Flourey (PR), Nadine Leconte (IE), Amélie Deglaire (MC), Fanny Guyomarch (IR), Geneviève Gésan-Guiziou (DR)*



# Contexte et problématique

L'OMS recommande l'allaitement exclusif des nourrissons jusqu'à 6 mois. Dans la pratique: nourrissons français majoritairement alimentés à l'aide de **préparation pour nourrissons (PPN)** (Deglaire et al. 2023)

Procédés classiques de production de PPN :  
nombreuses opérations unitaires (OPU) dont  
plusieurs **traitements thermiques**

↓  
✓ Sécurité sanitaire

**MAIS**

**Produit dit « ultra-transformé »:**

- **Plan nutritionnel** : Dénaturation des protéines et apparition de composés néo-formés potentiellement toxiques (Yu et al, 2021)
- **Plan environnemental** : opérations énergivores (concentration, séchage, traitement thermique) (Deglaire et al. 2023)



**Proposition d'un procédé de production de PPN alternatif par Yu et al. (2021)**



- **Réduire** ingrédients en **poudre** (▼ Séchage)
- Remplacement traitement thermique par **microfiltration membranaire**

↓  
✓ Sécurité sanitaire

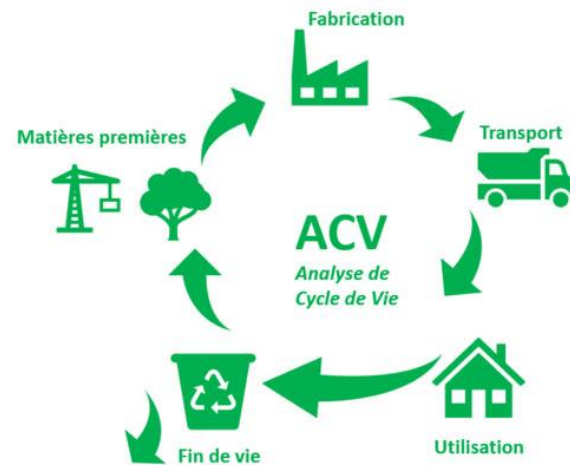
- ✓ **Plan nutritionnel**: produit répondant au concept de « **minimal-processing** »

**MAIS**

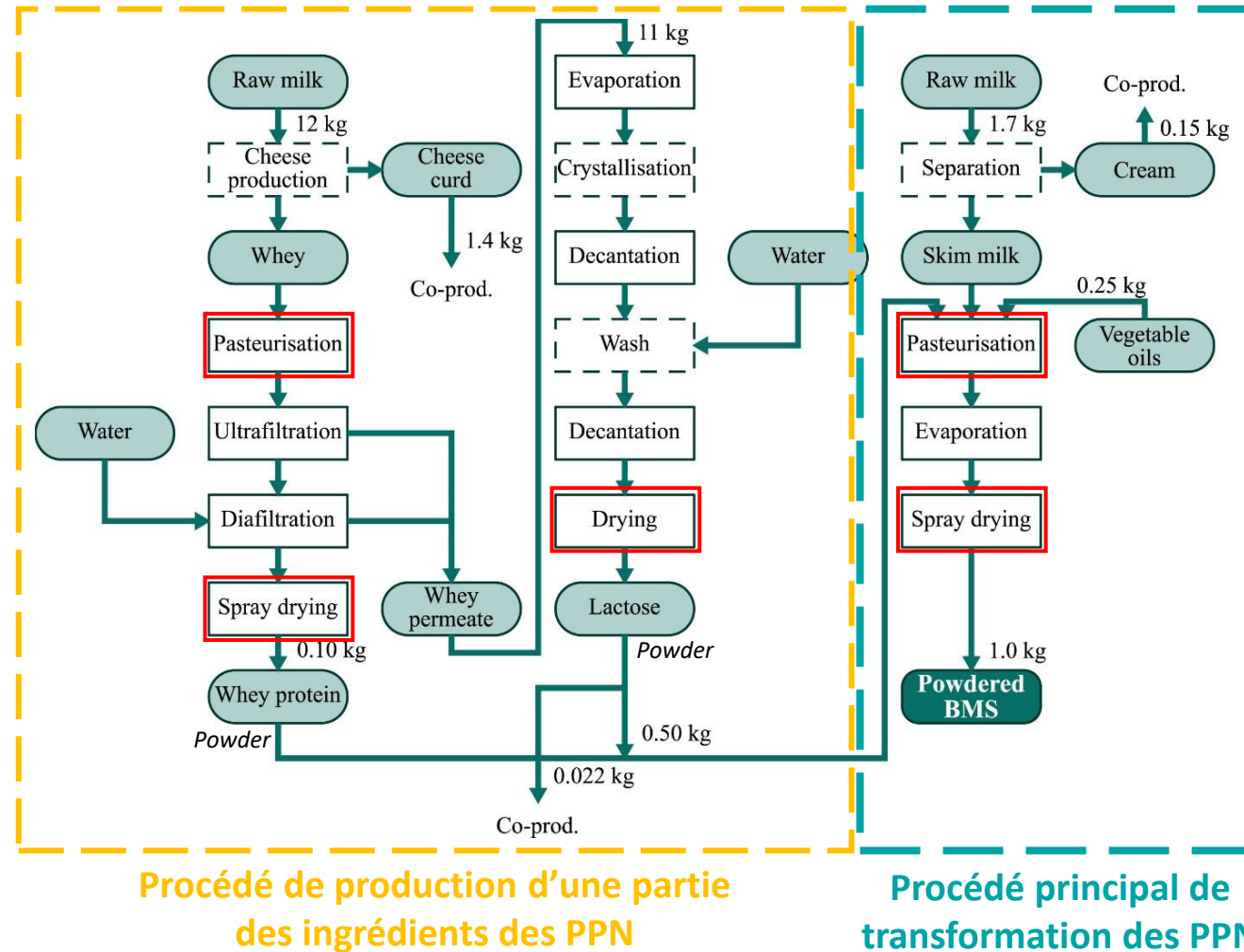


**Plan environnemental: peut-on aussi considérer que ce produit est éco-conçu?**

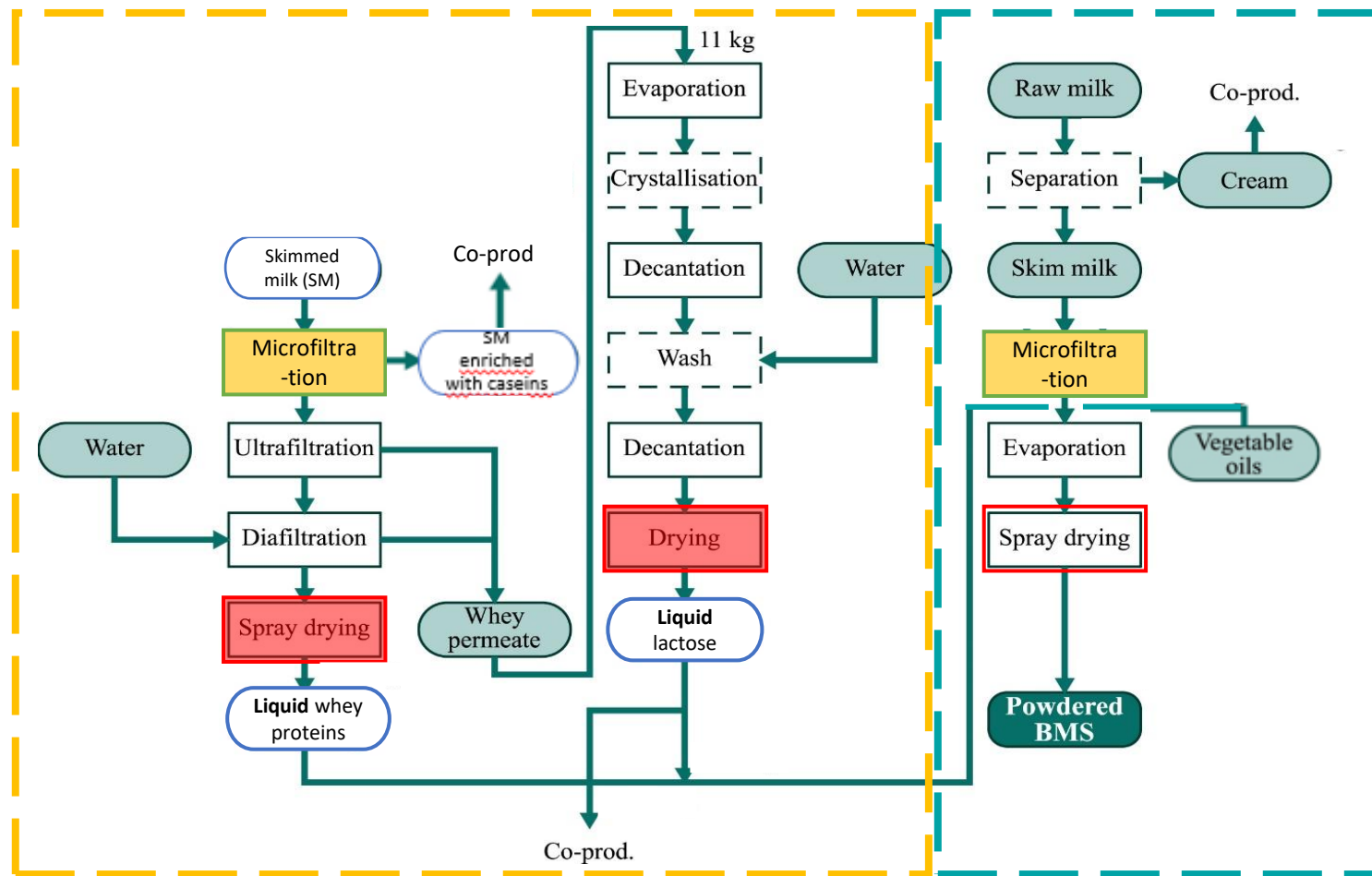
**Comparer l'ACV d'un procédé classique et d'un itinéraire alternatif de production de poudre de lait infantiles (origine France)**



# Itinéraire de fabrication classique simplifié d'une Poudre de Préparation pour Nourrissons (PPN) (d'après Karlsson et al., 2019)



Karlsson et al (2019). The carbon footprint of breastmilk substitutes in comparison with Breastfeeding, J. Cleaner Prod. 222



Procédé de production d'une partie des ingrédients des PPN

Procédé principal de transformation des PPN

- Opérations thermiques dénaturantes
- Opérations dénaturantes éliminées dans le procédé alternatif

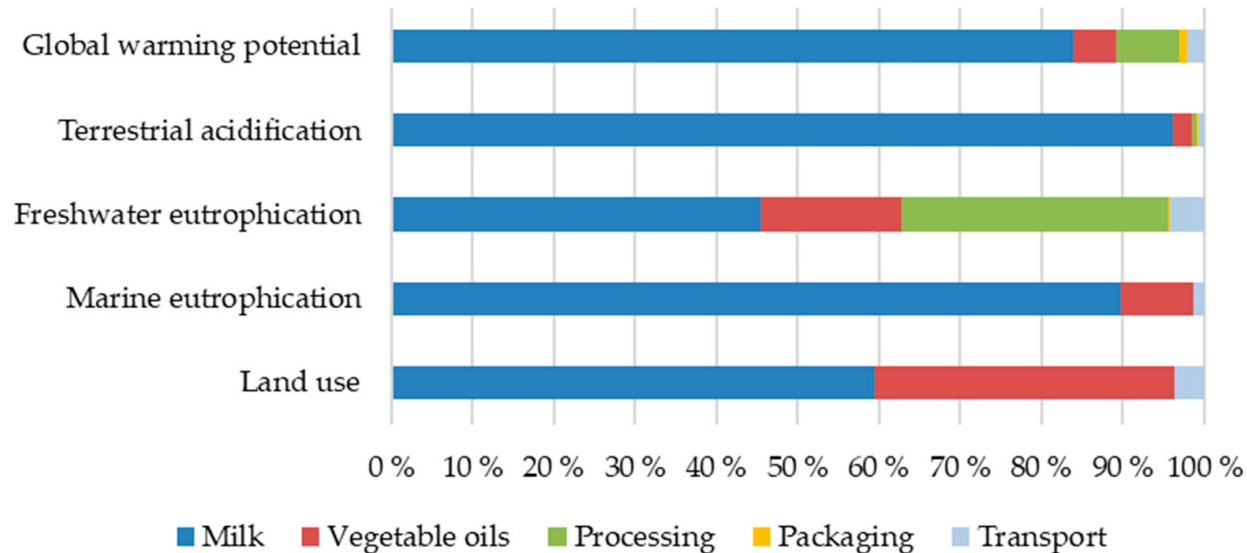
- Opérations de microfiltration remplaçant une opération thermique dénaturante
- Ingrédients obtenus sous forme liquide

Itinéraire alternatif "idéal" proposé par Yu et al (2021)



- Microfiltration
- Liquid Whey Protein concentrate
- Liquid lactose

- **Très peu de données disponibles à ce jour dans la littérature et les Bases de Données:**
  - Résultats d'ACV disponibles pour une seule poudre de préparation pour nourrissons produite aux Pays-Bas et distribuée en Norvège: étude d'Andresen et al (2022) adaptée de Karlsson et al (2019)



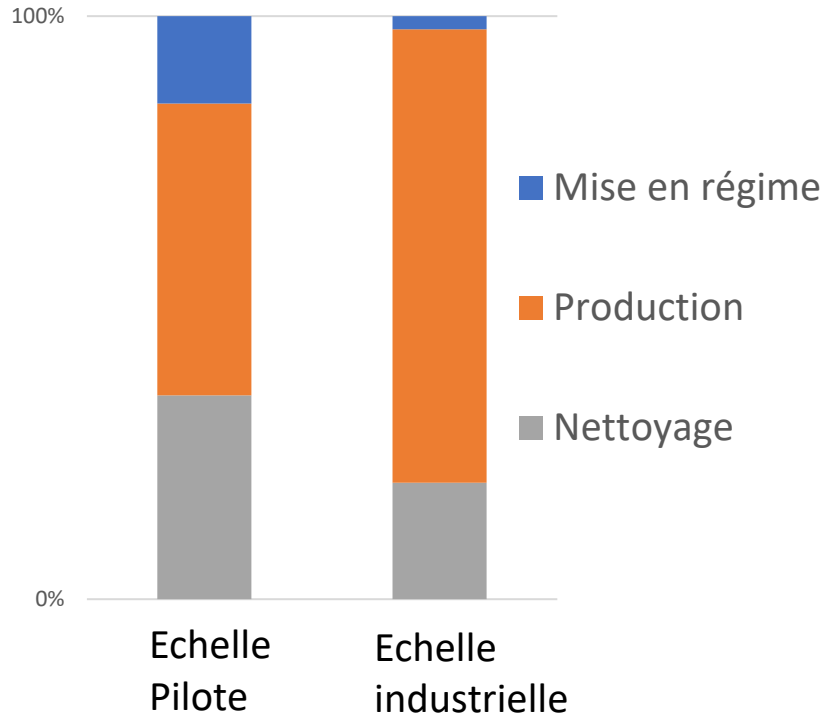
Percentage contribution to environmental impacts from production and distribution of 1 kg infant formula powder.

- **Raw cow milk** contributed most to all impact categories assessed (> 80% GWP)
- **Processing** contributed with **37%** for **freshwater eutrophication** and **17%** **global warming potential** (insignificantly to other impact categories)

- **Limites de l'étude:** Données secondaires (ou d'arrière plan) concernant les ingrédients et procédés
- **Etape de transformation:** pas de distinction possible de l'impact environnemental des différentes opérations unitaires

# Contexte de l'étude

- Des données de production de PPN « classique » vs « alternatif » **obtenues à l'échelle pilote** (Yu et al., 2021, Le Roux (2018)).
- **Différence de répartition des consommations de ressources\*** entre phases selon échelle : **pilote vs industrielle**



*Répartition théorique des consommations entre les phases*

*Exemples des différences entre étape de nettoyage à échelles différentes*

| Pilote                   | Industrielle             |
|--------------------------|--------------------------|
| Eau perdue               | Nettoyage en place (NEP) |
| Durées variables         | Temps normés             |
| Détergent à usage unique | Recyclage du détergent   |

**Pas de proportionnalité des impacts du nettoyage et de la mise en régime entre échelles pilote et industrielle**

- **Peu de résultats** publiés ou disponibles d'ACV de poudres de préparations pour nourrissons, et aucune donnée en France (même si résultats d'ACV disponibles à l'échelle industrielle sur certaines opérations unitaires)
- Des **données d'ICV** de production de poudres de lait disponibles majoritairement à **l'échelle pilote** (majoritairement issues de projets de recherche menés STLO)

### Difficultés supplémentaires:

- **Confidentialité importante** des données industrielle de production des produits laitiers
- **Manque de données d'ACV sur les ingrédients** utilisés pour les PPN dans les BDD (Agribalyse, Ecoinvent, etc)



2<sup>e</sup> objectif de l'étude:

**Pouvoir distinguer les 3 phases *transitoire* – *stationnaire* – *nettoyage*** dans les modélisations ICV et ACV pour **faciliter le changement d'échelle**

## Définition et objectifs du système

### Unité Fonctionnelle

Production d'un **kilogramme de poudre** de lait infantile (en France)

### Fonction

Apporter les éléments nécessaires à la croissance et au bon développement d'un nourrisson

### Echelle d'étude

**Echelle pilote**

### Champ de l'étude

De : Collecte du **lait cru en sortie de ferme**



À : PPN en **sortie de production** réalisée sur un unique site

## Inventaire du cycle de vie: Intégration des données sur logiciels ICV/ACV

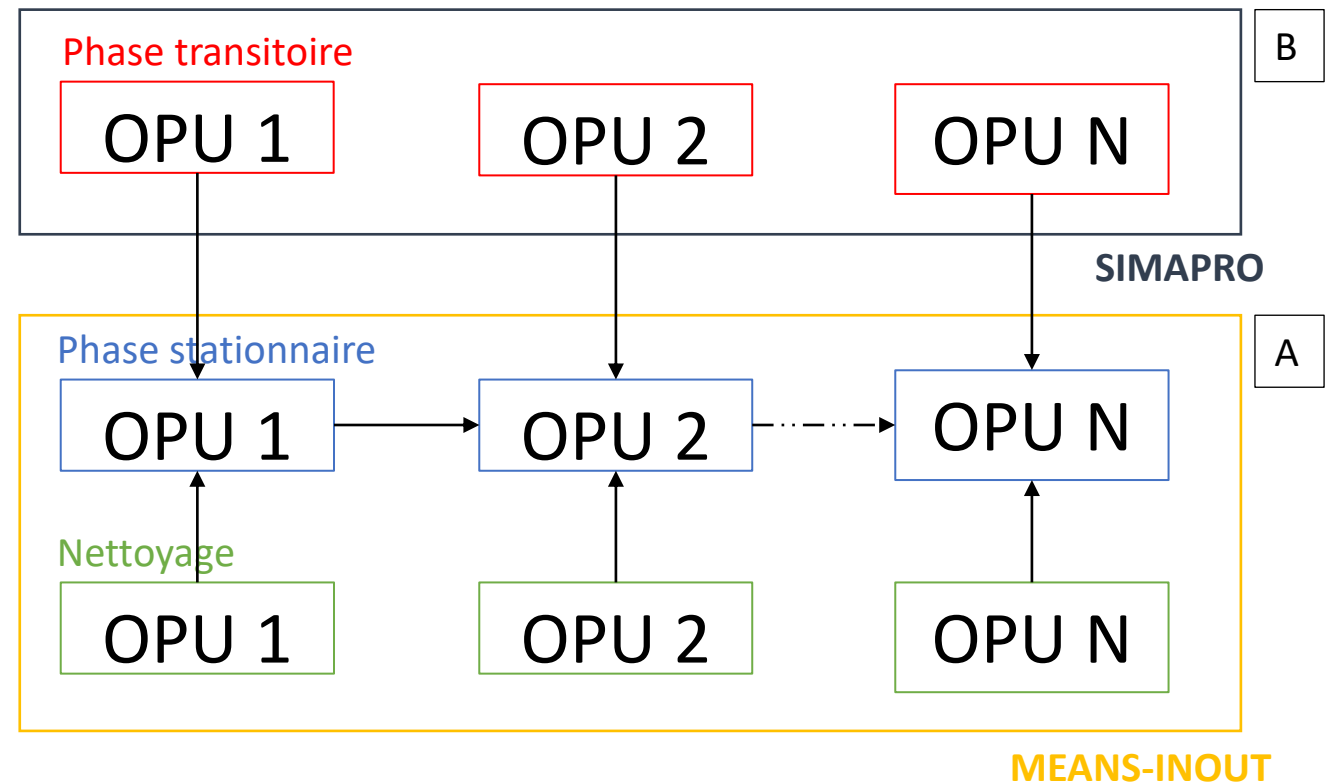
### Enjeu & Challenge méthodologique :

Dissocier les trois phases de fonctionnement de chaque opération unitaire (OPU) pour pouvoir les identifier dans l'ACV

→ faciliter à terme le changement d'échelle

Stratégie choisie: Modélisation de l'ICV dans deux logiciels

- **Means InOut**  
Limite: Ne permet pas de distinguer les phases transitoire et stationnaire des opérations
- **SimaPro**



## Inventaire du cycle de vie

- Intégration des données dans Means InOut



Vous êtes connecté(e) en tant que : Emma Saint-Preux

**Navigateur**

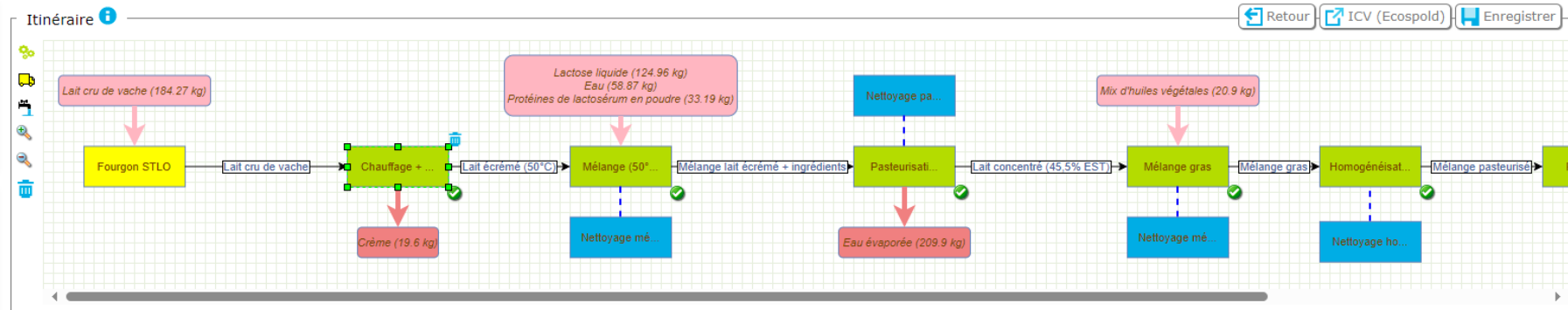
- Infant milk powder produ...
- \_Classic\_ infant milk pow...
- Classic infant milk powder...
- LCA of a \_classic\_ infant ...

**Outils**

- Créer un projet
- Ouvrir un de mes projets
- Rechercher
- Gestion des aliments
- Paramètres du compte

**Accès rapides**

- Accueil InOut
- Logiciel de calcul des indic...
- Bibliothèques IMTA



Description de la transformation : **Chauffage + écrémage**

| Caractéristiques                                      | Intrants                   | Sortants    | Consommation d'eau | Emballages               | Equipements           | Consommables | Consommation d'énergie |
|---|----------------------------|-------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|--------------|------------------------|
| Matières qui concourent à la composition du produit ? |                            |             |                    |                          |                       |              |                        |
| Produit entrant en transformation:                    |                            |             |                    |                          |                       |              |                        |
| Nom du substrat ?                                     | Lait cru de vache          |             |                    |                          |                       |              |                        |
| Quantité * ?  | 184.27                     | kg          |                    |                          |                       |              |                        |
| Pourcentage de pertes * ?                             | 3.91                       |             |                    |                          |                       |              |                        |
| Devenir des pertes * ?                                | Méthanisation de biodéchet |             |                    |                          |                       |              |                        |
| Ingrédients:  |                            |             |                    |                          |                       |              |                        |
| Ajouter un ingrédient ou un réactif                   |                            |             |                    |                          |                       |              |                        |
| Intrant   | ▲                          | Quantité* ? | Unité* ?           | Pourcentage de pertes* ? | Devenir des pertes* ? |              |                        |
| Aucune donnée disponible dans le tableau              |                            |             |                    |                          |                       |              |                        |

## Inventaire du cycle de vie

- Intégration des données dans SimaPro

The screenshot displays the SimaPro interface for data integration. On the left, a hierarchical tree structure is shown under the 'Means' category, with 'Processing step' expanded to show various process steps. On the right, two tables are visible: 'MEANS-INOUT' and 'SIMAPRO'. Both tables have columns for 'le nom', 'Unité', 'Type de déché', 'Projet', and 'État'. The 'MEANS-INOUT' table lists process steps with 'CS' (Chemical Substances) as the unit, while the 'SIMAPRO' table lists the same steps with 'TS' (Technical Substances) as the unit. A green arrow indicates the mapping from the '01-02 - PS - Heating + Milk skimming' step in the tree to the corresponding row in the 'MEANS-INOUT' table. A red arrow indicates the mapping from the same step in the tree to the corresponding row in the 'SIMAPRO' table.

| le nom   | Unité | Type de déché | Projet   | État  |
|--|-------|---------------|--|-------|
| 01-02 - CS - Heating + Milk skimming             | p     |               | LCA of infant milk powder production processes - FINAL | Aucun |
| 03 - CS - Blending                               | p     |               | LCA of infant milk powder production processes - FINAL | Aucun |
| 04-05 - CS - Pasteurization + Vacuum evaporation | p     |               | LCA of infant milk powder production processes - FINAL | Aucun |
| 06 - CS - Pre-mixing                             | p     |               | LCA of infant milk powder production processes - FINAL | Aucun |
| 07-08 - CS - Homogenization + Pasteurization     | p     |               | LCA of infant milk powder production processes - FINAL | Aucun |
| 09 - CS - HP Pump                                | p     |               | LCA of infant milk powder production processes - FINAL | Aucun |
| 10 - CS - Spray Drying                           | p     |               | LCA of infant milk powder production processes - FINAL | Aucun |

**MEANS-INOUT**

| le nom   | Unité | Type de déché | Projet   | État  |
|--|-------|---------------|--|-------|
| 01-02 - TS - Heating + Milk skimming             | p     |               | LCA of infant milk powder production processes - FINAL | Aucun |
| 03 - TS - Blending                               | p     |               | LCA of infant milk powder production processes - FINAL | Aucun |
| 04-05 - TS - Pasteurization + Vacuum evaporation | p     |               | LCA of infant milk powder production processes - FINAL | Aucun |
| 06 - TS - Pre-mixing                             | p     |               | LCA of infant milk powder production processes - FINAL | Aucun |
| 07-08 - TS - Homogenization + pasteurization     | p     |               | LCA of infant milk powder production processes - FINAL | Aucun |
| 10 - TS - Spray drying                           | p     |               | LCA of infant milk powder production processes - FINAL | Aucun |

**SIMAPRO**

In progress....!

### Contraintes du logiciel Means-InOut pour la modélisation des procédés de transformation agroalimentaire

- Pas de possibilité de dissocier les **phases transitoire et stationnaire des opérations unitaires (OPU)**
- Pas de possibilité de rentrer un **emploi du temps** pour les **équipements** de chaque OPU **séparément** (Pourcentage de production, temps morts et nettoyage global)
- Pas de visibilité sur l'**origine des intrants proposés** (Quelle BDD, dummy process ?...)

## 1) Problématique du changement d'échelle

*Agro-écologie, relocalisation et autonomie des territoires:*  
➡ *quelle taille d'atelier de transformation optimale?*

### - Stage M2 6 mois mars-septembre 2024

- Réaliser l'ACV de la production de PPN « classique » à l'échelle industrielle en identifiant les différentes phases (transitoire, stationnaire, nettoyage) pour chaque opération unitaire
- Comparer scénarios obtenus aux échelles pilote vs industrielle

### - **Projet thèse (recherche financement)** '*Prise en compte du changement d'échelle dans l'évaluation environnementale des procédés de transformation agroalimentaires (SCALA)*'

**Est-il possible d'extrapoler les résultats d'une échelle à l'autre en utilisant les démarches de modélisation du génie des procédés?**

- Identification des paramètres critiques influencés par le changement d'échelle
- Proposition de méthodologies intégrant la modélisation et le dimensionnement des procédés pour réaliser des Inventaires de Cycle de Vie et ACV adaptés à ces changements d'échelles

## 2) Problématique de l'origine des matières premières

### *Optimisation performance nutritionnelle vs environnementale?*

Quel impact de l'**origine des ingrédients** dans la formulation des PPN (Whey protein, lactose)?

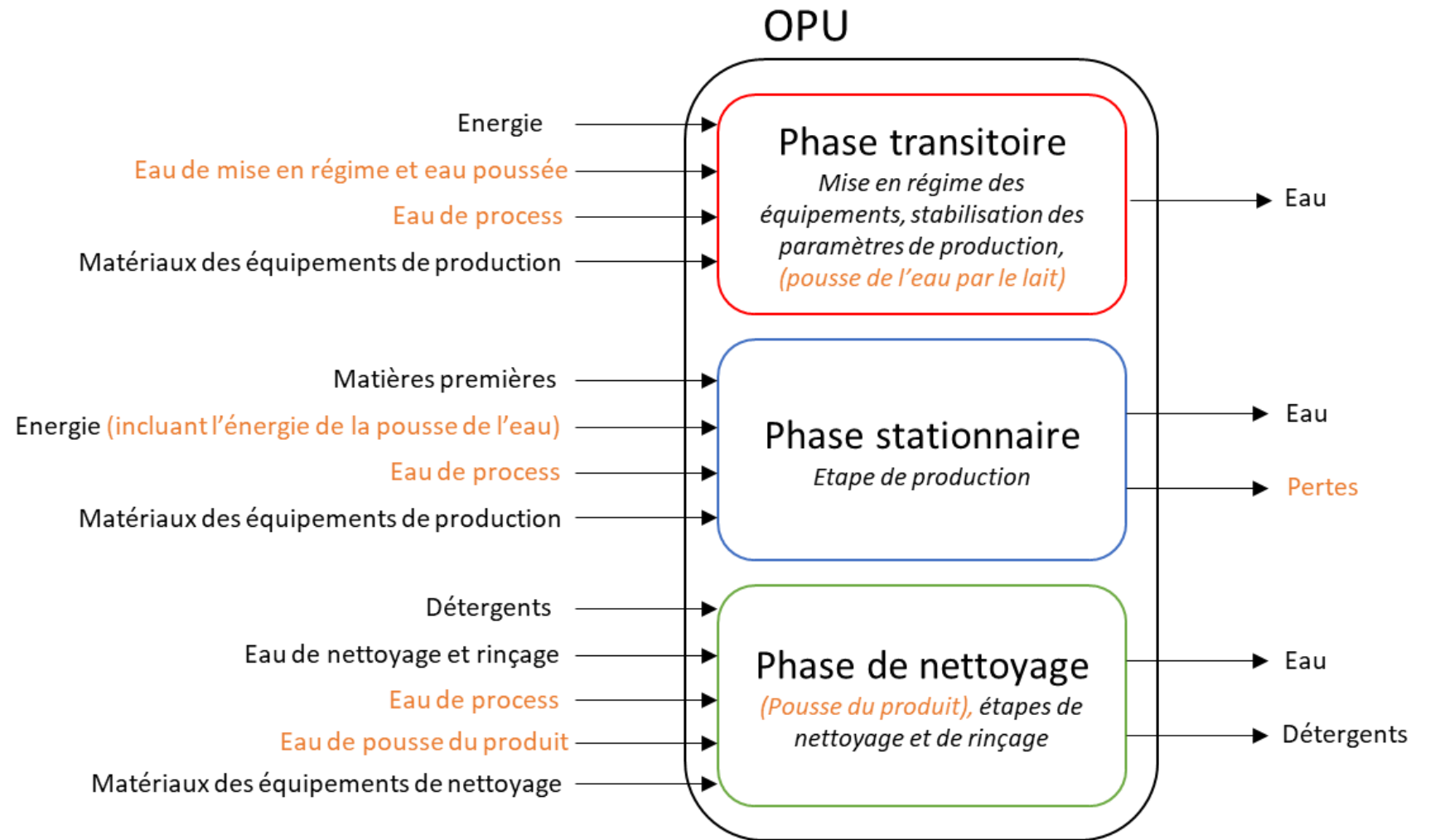
*(issus de la **valorisation co-produits** de l'industrie fromagère vs **produit principal** issu du traitement de lait cru)*

➔ Quel impact des **règles d'allocations** sur les résultats d'ACV?

## Inventaire du cycle de vie sur une opération unitaire (OPU)

Exemple pour une opération unitaire du procédé de production :

Différentiation de l'inventaire en 3 phases distinctes



## Définition du champ de l'étude et périmètre de l'ICV

