



ITAVI

L'INSTITUT TECHNIQUE DES FILIÈRES
AVICOLE, CUNICOLE ET PISCICOLE



COLLEGIUM
Sciences & Techniques
Orléans - Bourges - Chartres



La formulation bilinéaire : principes et applications

Léonie Dusart – ITAVI

Résultats du stage de Younes Rhoulam – Université d'Orléans

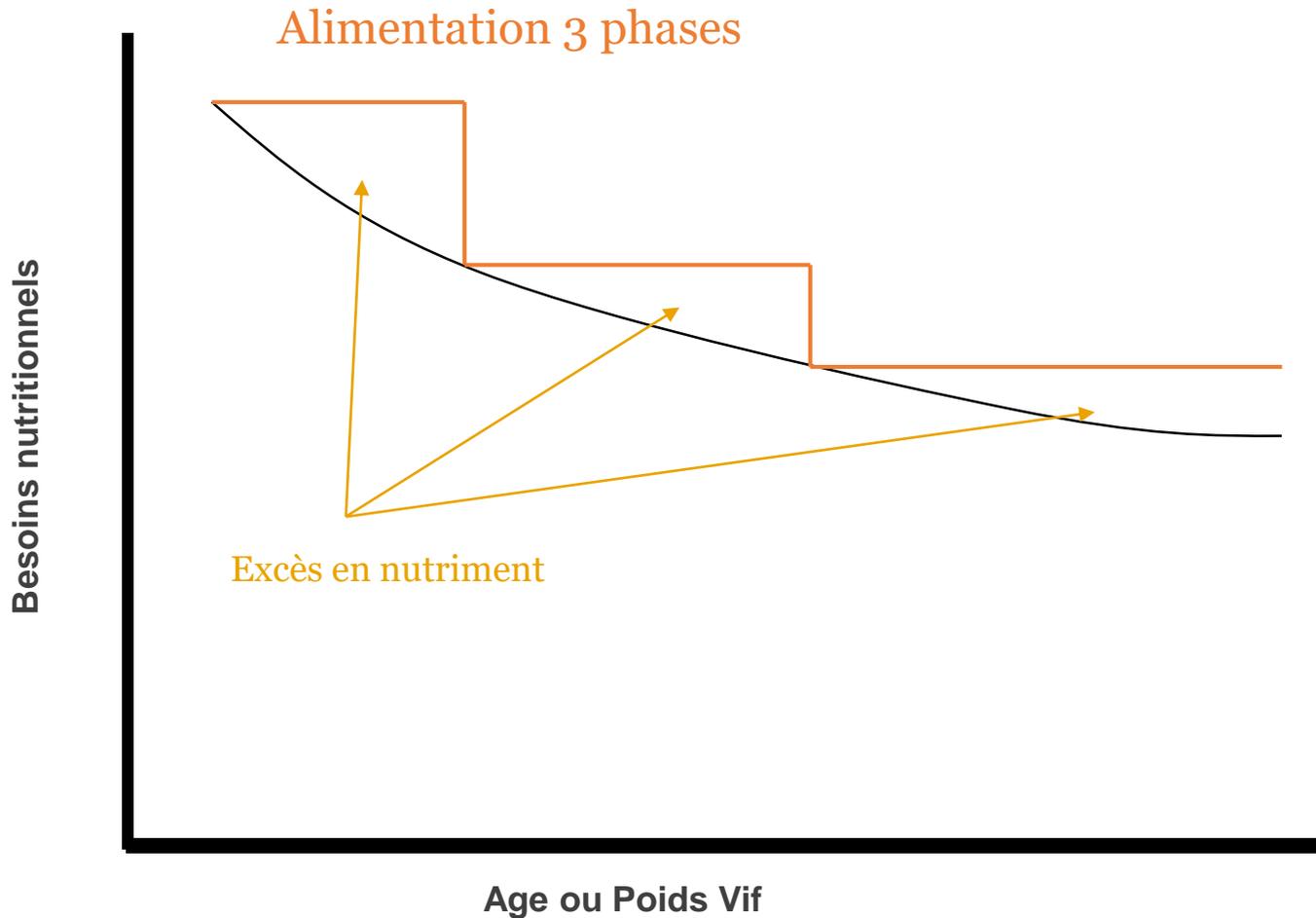


Feed-a-Gene

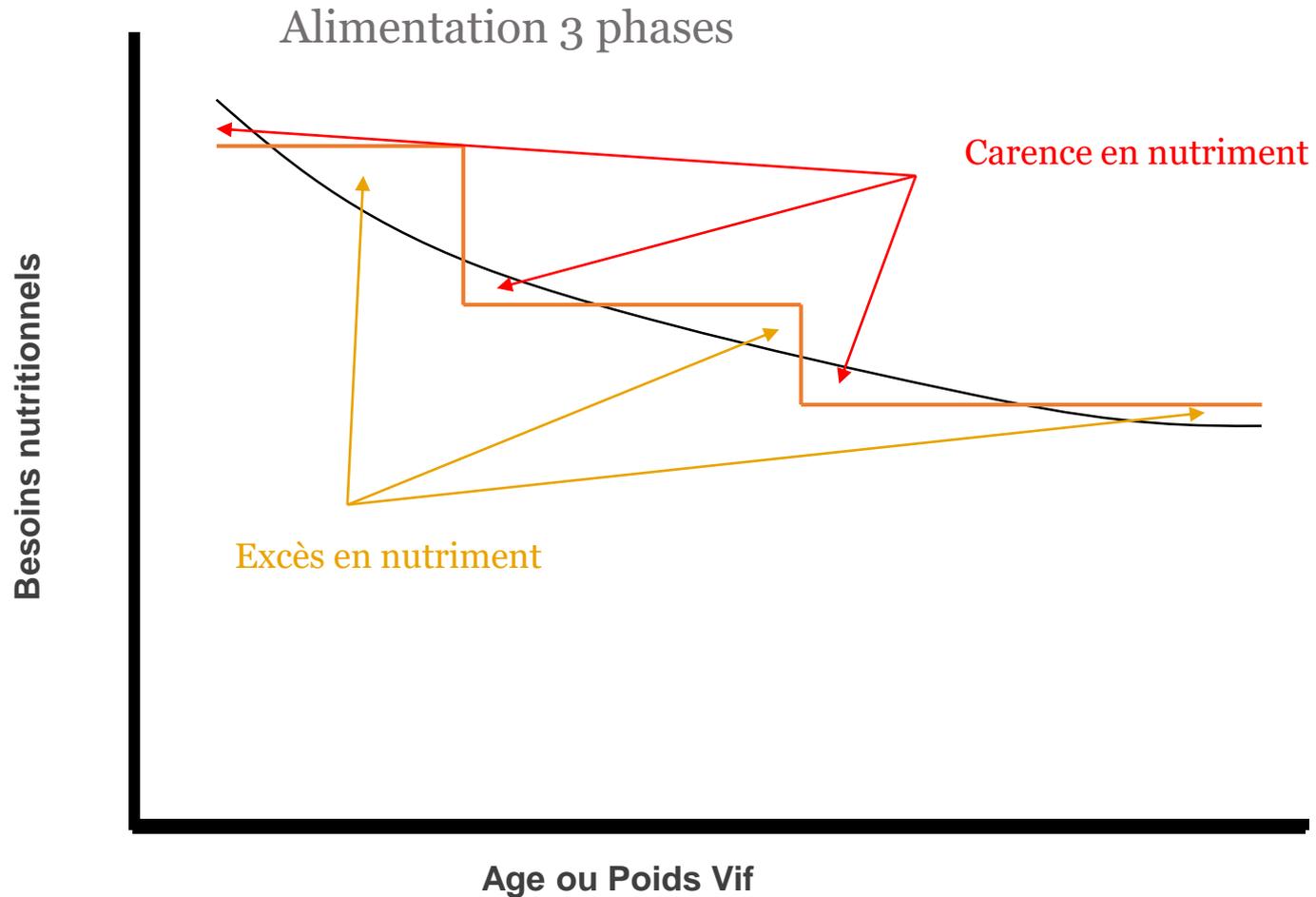


The Feed-a-Gene Project has received funding from the European Union's H2020 Program under grant agreement n°633531

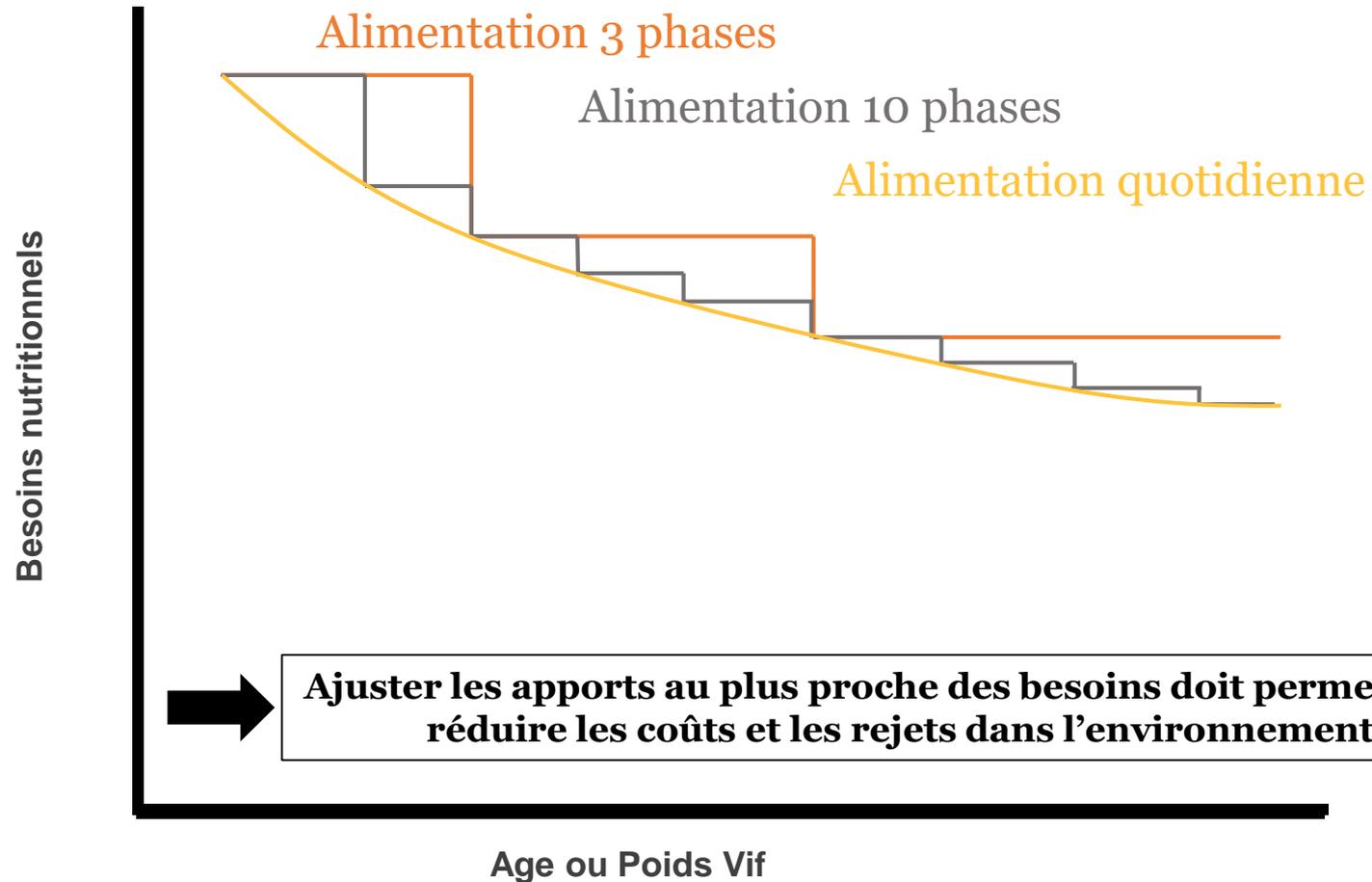
Alimentation multiphase et alimentation de précision



Alimentation multiphase et alimentation de précision



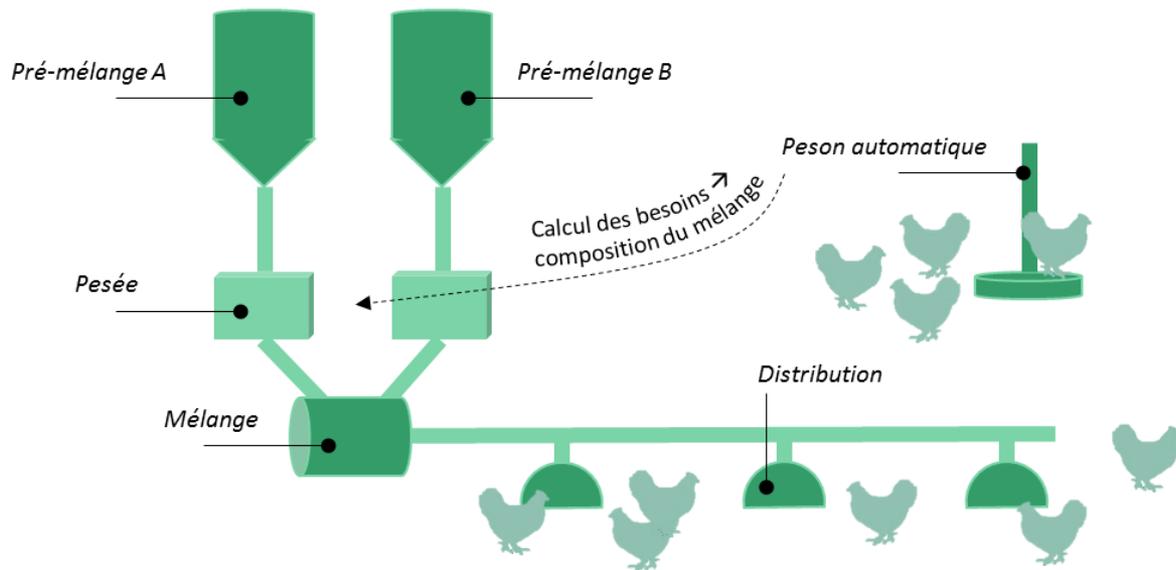
Alimentation multiphase et alimentation de précision



Stratégie d'alimentation de précision

Utiliser un mélange de pré-mélanges dont les proportions évoluent chaque jour

- Permet d'ajuster quotidiennement les apports aux besoins
- Limite le nombre de formules (à l'image d'une stratégie 3 phases)
- Nécessite un équipement adapté mais existant : 2 silos, 1 trémie peseuse mélangeuse en début de chaîne de distribution



Stratégie d'alimentation de précision

Combien de pré-mélanges ?

Utilisés en mélange → détermine le nombre de nutriments qui peuvent être maîtrisés

Nombre de pré-mélanges en mélange = nombre de nutriments maîtrisés +1

Utilisés successivement → améliore l'ajustement aux besoins



Conséquences en formulation

Formulation par phases	Formulation de pré-mélanges
Un aliment par phase = les aliments sont indépendants	Pré-mélanges associés chaque jour = les compositions des formules nutritionnelles sont interdépendantes
Contraintes nutritionnelles constantes sur la durée de la phase	Contraintes nutritionnelles variables quotidiennement
Variables cherchées = composition en matières premières des aliments	Variables cherchées = composition en matières premières des pré-mélanges + proportions quotidiennes à mélanger
Minimisation du coût de la formule	Minimisation du coût alimentaire sur l'ensemble de la période d'élevage
→ Optimisation linéaire	→ Optimisation bilinéaire (non convexe)



Modèles mathématiques

Formulation avec 4 pré-mélanges (Modèle général)

$$\text{Min}_{\alpha 1_k, \alpha 2_k, \alpha 3_k, A, B, D, E} \left[\sum_{k \in \text{PE1}} I_k (C_A \alpha 1_k + C_B (1 - \alpha 1_k)) + \sum_{k \in \text{PE2}} I_k (C_B \alpha 2_k + C_D (1 - \alpha 2_k)) + \sum_{k \in \text{PE3}} I_k (C_D \alpha 3_k + C_E (1 - \alpha 3_k)) \right]$$

s.c

$$A_i, B_i, D_i, E_i \geq 0$$

$\forall i \in M$

$$\sum_{i=1}^m (A_i) = 100, \quad \sum_{i=1}^m (B_i) = 100, \quad \sum_{i=1}^m (D_i) = 100, \quad \sum_{i=1}^m (E_i) = 100$$

$$0 \leq \alpha l_k \leq 1$$

$$\forall k \in \text{PE1} \quad \forall l \in \{1, 2, 3\}$$

$$F4P_ML_{ik} \leq \alpha 1_k A_i + (1 - \alpha 1_k) B_i \leq F4P_MU_{ik} \quad \forall k \in \text{PE1} \quad \forall i \in M$$

$$F4P_ML_{ik} \leq \alpha 2_k B_i + (1 - \alpha 2_k) D_i \leq F4P_MU_{ik} \quad \forall k \in \text{PE2} \quad \forall i \in M$$

$$F4P_ML_{ik} \leq \alpha 3_k D_i + (1 - \alpha 3_k) E_i \leq F4P_MU_{ik} \quad \forall k \in \text{PE3} \quad \forall i \in M$$

$$F4P_TL_{hk} \leq \alpha 1_k \sum_{i \in \{M_h\}} (A_i) + (1 - \alpha 1_k) \sum_{i \in \{M_h\}} (B_i) \leq F4P_TU_{hk} \quad \forall h \in \{1, \dots, H\} \quad \forall k \in \text{PE1}$$

$$F4P_TL_{hk} \leq \alpha 2_k \sum_{i \in \{M_h\}} (B_i) + (1 - \alpha 2_k) \sum_{i \in \{M_h\}} (D_i) \leq F4P_TU_{hk} \quad \forall h \in \{1, \dots, H\} \quad \forall k \in \text{PE2}$$

$$F4P_TL_{hk} \leq \alpha 3_k \sum_{i \in \{M_h\}} (D_i) + (1 - \alpha 3_k) \sum_{i \in \{M_h\}} (E_i) \leq F4P_TU_{hk} \quad \forall h \in \{1, \dots, H\} \quad \forall k \in \text{PE3}$$

$$F4P_NL_{nk} \leq \alpha 1_k \sum_{i=1}^m (A_i N_i[n]) + (1 - \alpha 1_k) \sum_{i=1}^m (B_i N_i[n]) \leq F4P_NU_{nk} \quad \forall k \in \text{PE1} \quad \forall n \in N$$

$$F4P_NL_{nk} \leq \alpha 2_k \sum_{i=1}^m (B_i N_i[n]) + (1 - \alpha 2_k) \sum_{i=1}^m (D_i N_i[n]) \leq F4P_NU_{nk} \quad \forall k \in \text{PE2} \quad \forall n \in N$$

$$F4P_NL_{nk} \leq \alpha 3_k \sum_{i=1}^m (D_i N_i[n]) + (1 - \alpha 3_k) \sum_{i=1}^m (E_i N_i[n]) \leq F4P_NU_{nk} \quad \forall k \in \text{PE3} \quad \forall n \in N$$

PFP_4P



Les différentes stratégies évaluées

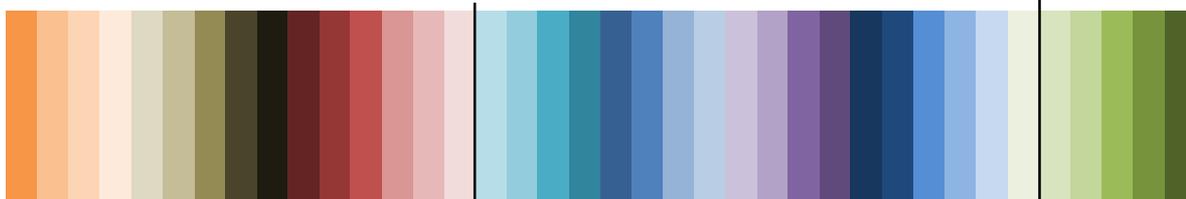
❖ Stratégie 3 phases = témoin



❖ Stratégie 4 pré-mélanges



❖ Stratégie 1 aliment par jour = optimum



J10

J25

J43

J47

Poulet de chair
3,2 kg à 47 jours
IC = 1,83

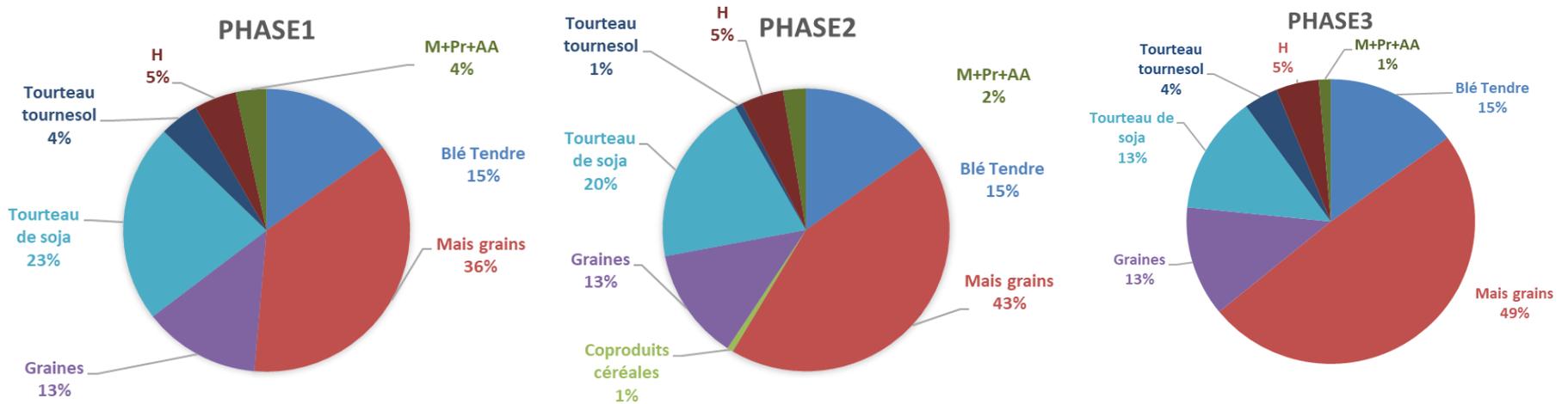
Simulation sur la
période J10-J47

Prix janvier 2014

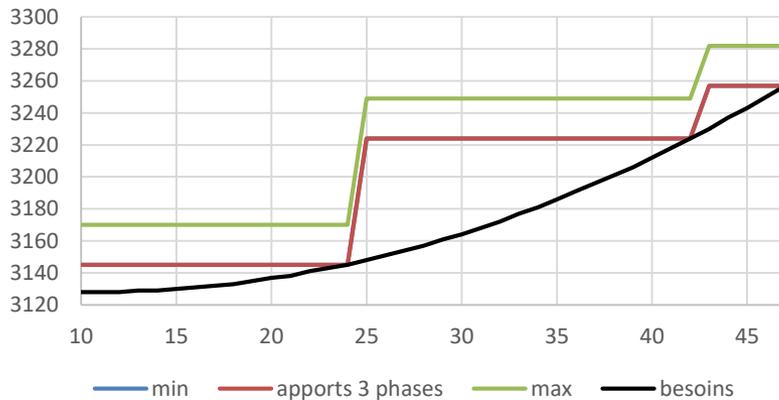


Résultats

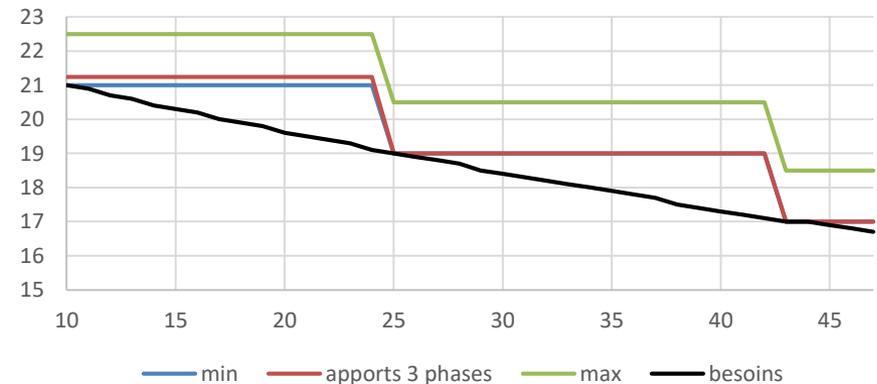
Stratégie 3 phases = témoin



Energie métabolisable (kcal/kg)



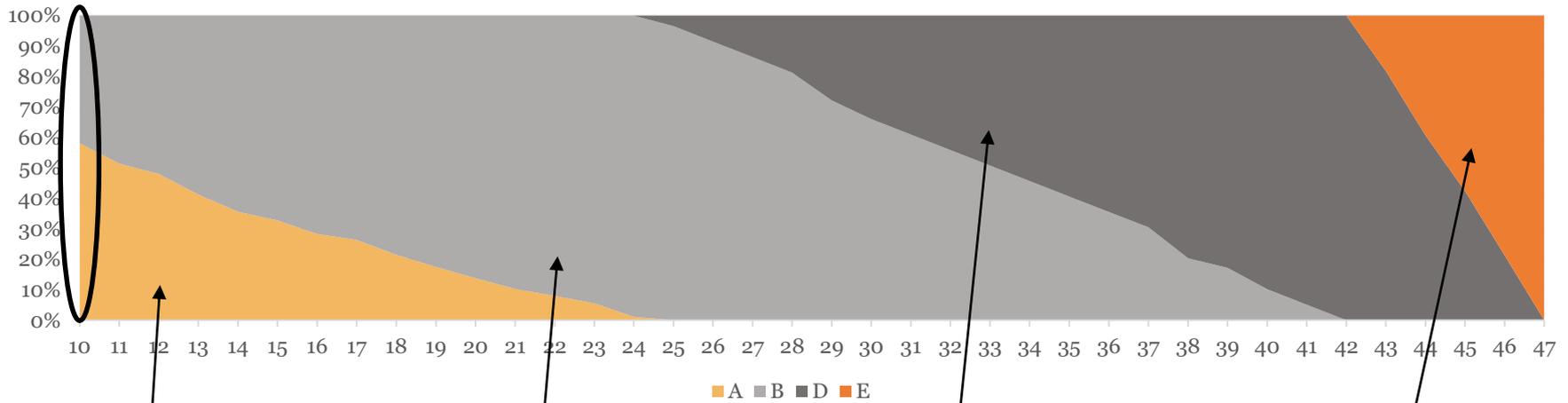
Protéines brutes (%)



Résultats

Stratégie 4 pré-mélanges

Proportions

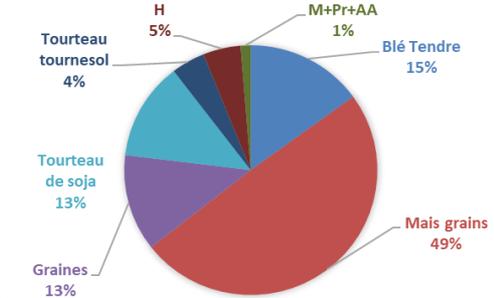
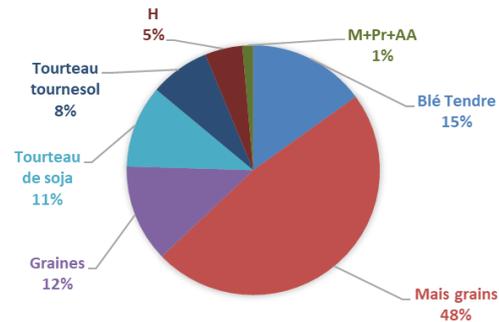
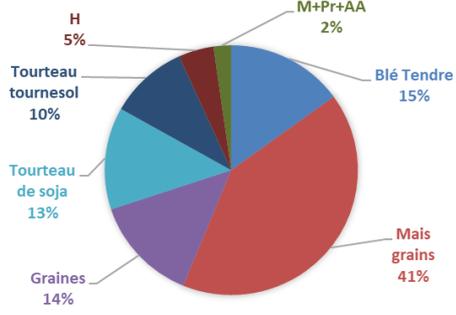
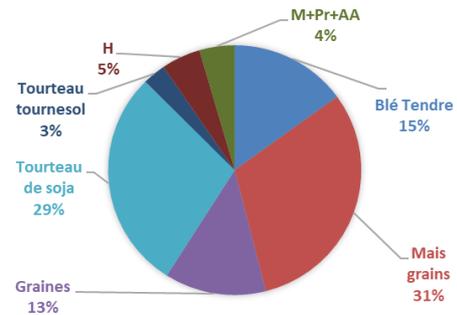


A

B

C

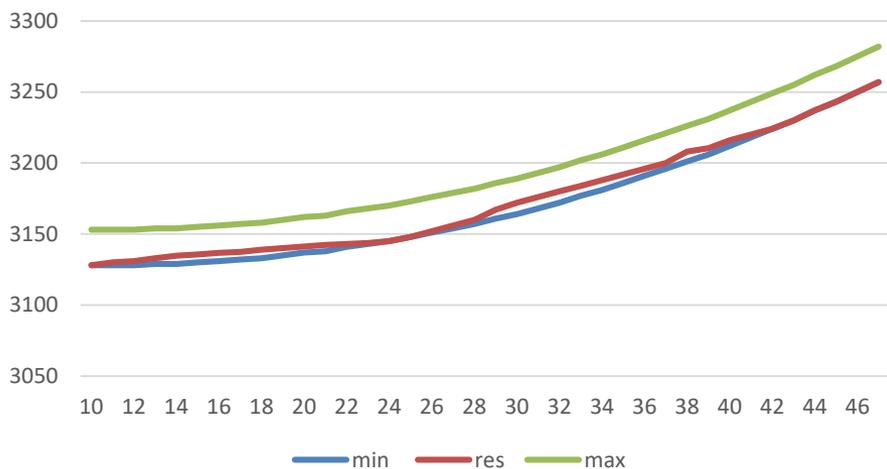
D



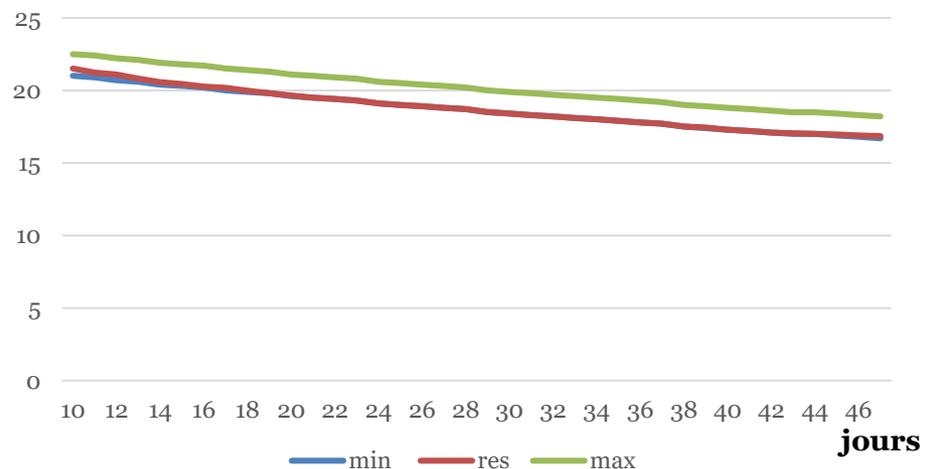
Résultats

Stratégie 4 pré-mélanges

Quantité en énergie (kcal/kg) EM



Teneur en protéines % MAT



Résultats

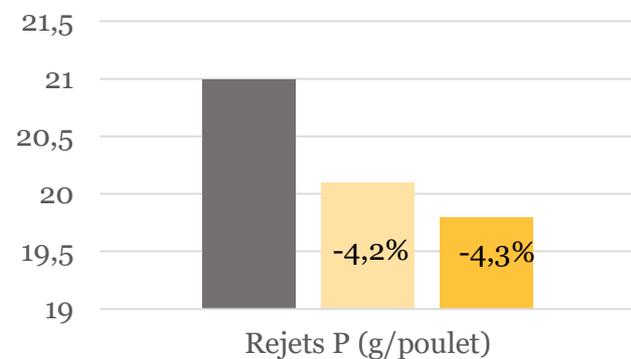
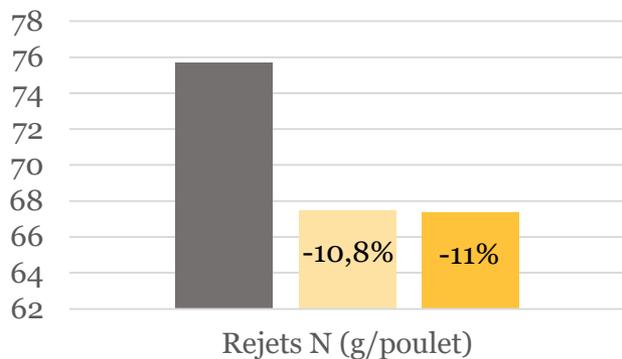
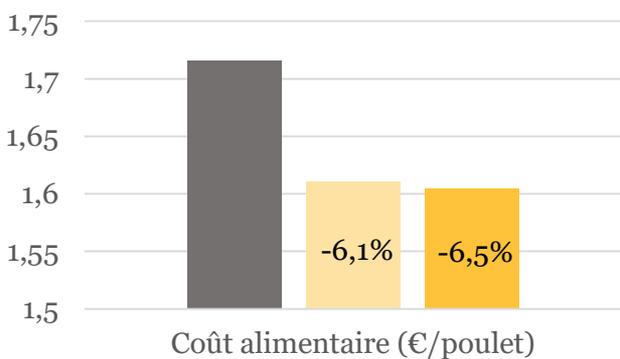
Stratégie 1 aliment par jour = optimum

38 formules différentes



Résultats

Intérêt économique et environnemental (à 47 jours)



■ 3 phases ■ 4 pré-mélanges ■ 1 aliment/jour

■ 3 phases ■ 4 pré-mélanges ■ 1 aliment/jour

■ 3 phases ■ 4 pré-mélanges ■ 1 aliment/jour



Conclusion

La formulation bilinéaire

- Permet d'optimiser simultanément plusieurs formules et leurs proportions en mélange
- Offre des perspectives intéressantes pour l'application de l'alimentation de précision

Suites ?

Essais expérimentaux → validation

Passage au terrain :

Adapter les outils de formulation (FAB)

Adapter le matériel en élevage (peseuse-mélangeuse)

Minimiser le coût alimentaire + les rejets (azote (N) et phosphore total (P))

Autres applications ?

Utilisation de céréales entières

→ ajuster la quantité et la composition du complémentaire dans le temps

