



Optimisation des formules alimentaires adaptées à l'alimentation de précision chez le poulet de chair

Présenté Par Younes Rhoulam

Le 15/09/2017

Sous l'encadrement de :

Thomas HABERKORN
(Université)

Bertrand MEDA
(INRA)

Léonie DUSART
(ITAVI)





Organismes de stages



- ▶ Fondé en 1946
- ▶ 18 centres régionaux
- ▶ Evaluation et conception des systèmes d'élevage innovants



- Créé en 1968
- 8 implantations régionales
- apporter des références, des éléments scientifiques et techniques



Plan de la présentation

- ▶ Contexte
- ▶ Objectifs de stage
- ▶ Modèles mathématiques
- ▶ Résolution numérique
- ▶ Résultats et discussion
- ▶ Conclusion



Contexte: Comment sont nourris les poulets de chair ?

Formulation = Recette

- 1- Caractériser les matières premières.
- 2- Définir les contraintes nutritionnelles de formulation.
- 3- Définir les contraintes d'incorporation des matières premières.
- 4- Définir et minimiser la fonction objectif.

Matières premières

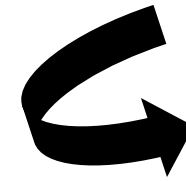
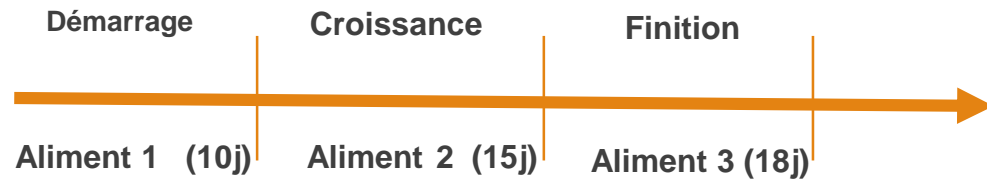
Blé
Maïs
Tourteau de soja
Huile de colza

Nutriments

Energie
Protéines
Lysine
Calcium

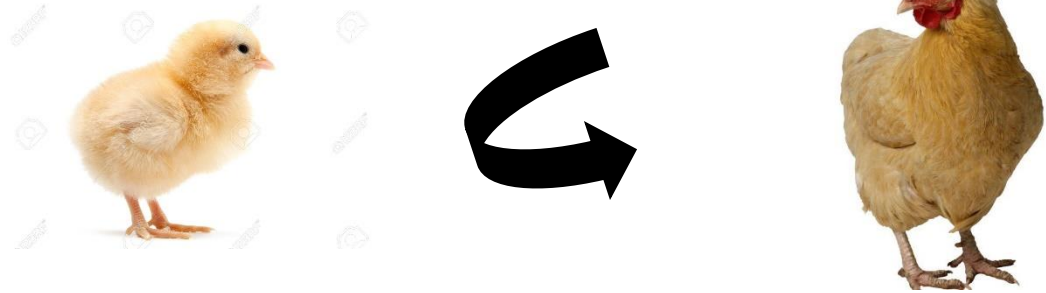
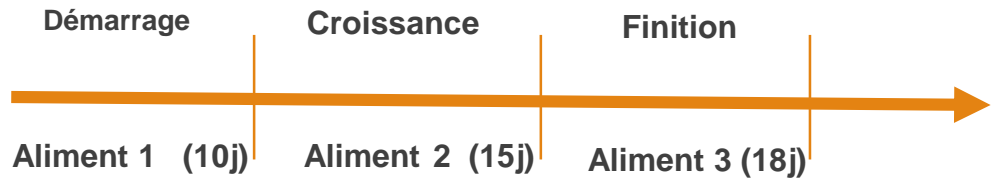


Contexte : Alimentation chez le poulet de chair

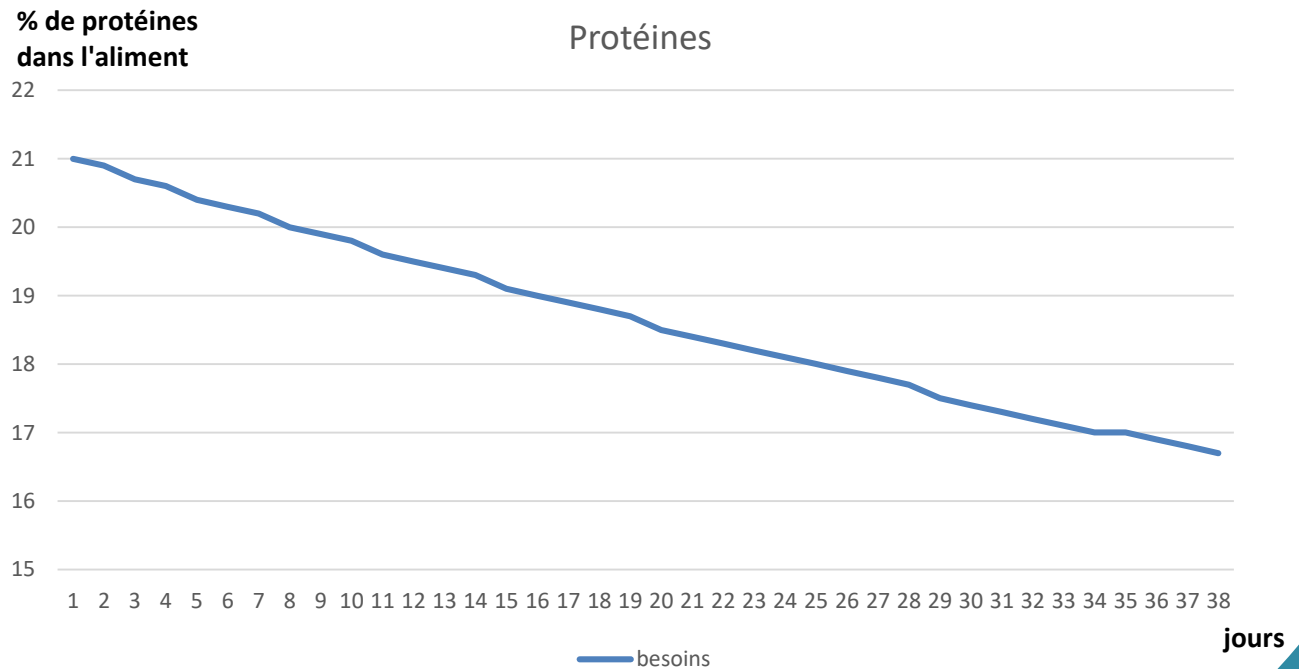




Contexte : Alimentation chez le poulet de chair

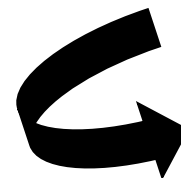
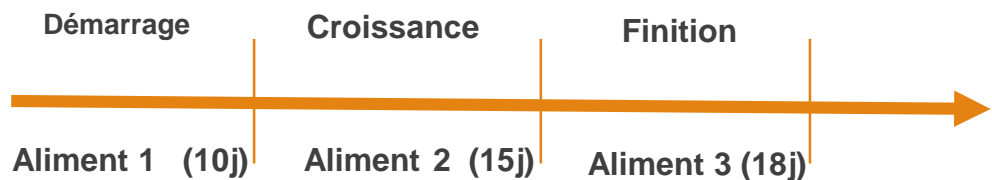


Besoins journaliers





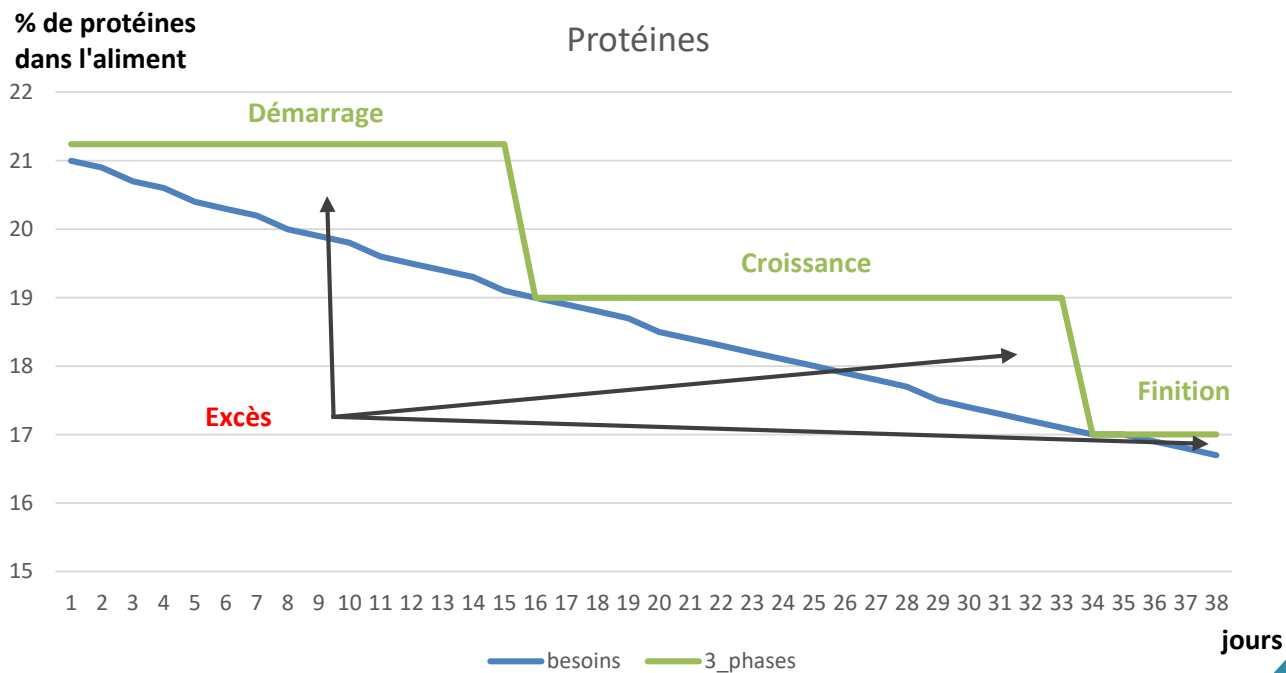
Contexte : Alimentation chez le poulet de chair



Besoins journaliers

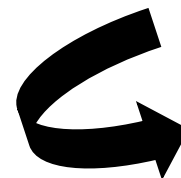


Alimentation avec 3 phases





Contexte : Alimentation chez le poulet de chair



Besoins journaliers



Alimentation avec 3 phases

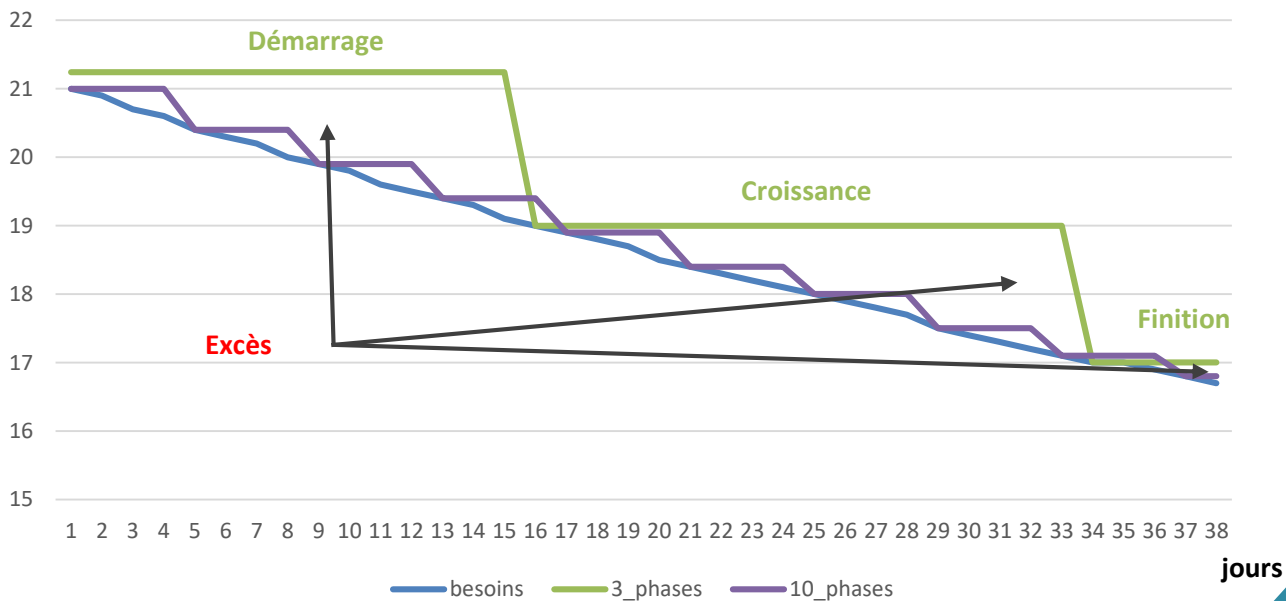


Alimentation avec 10 phases



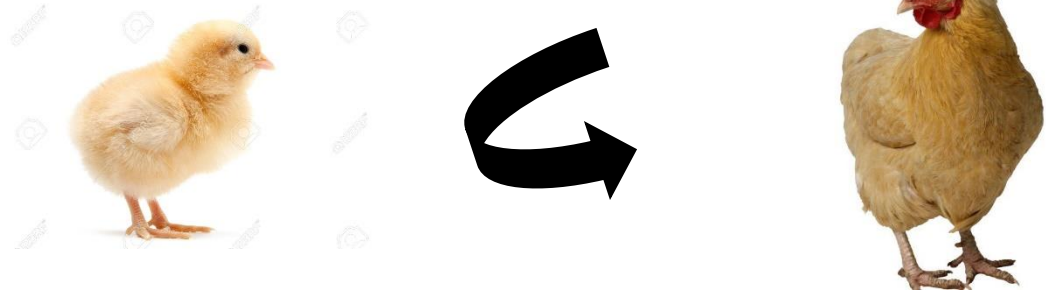
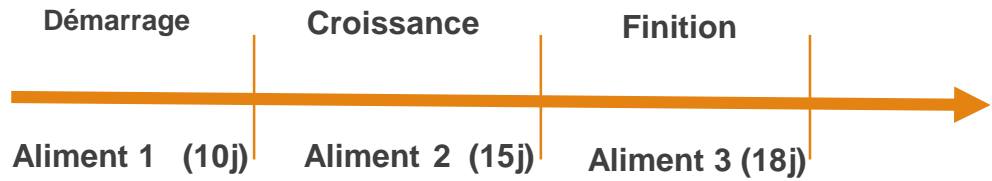
% de protéines dans l'aliment

Protéines





Contexte : Alimentation chez le poulet de chair



Besoins journaliers



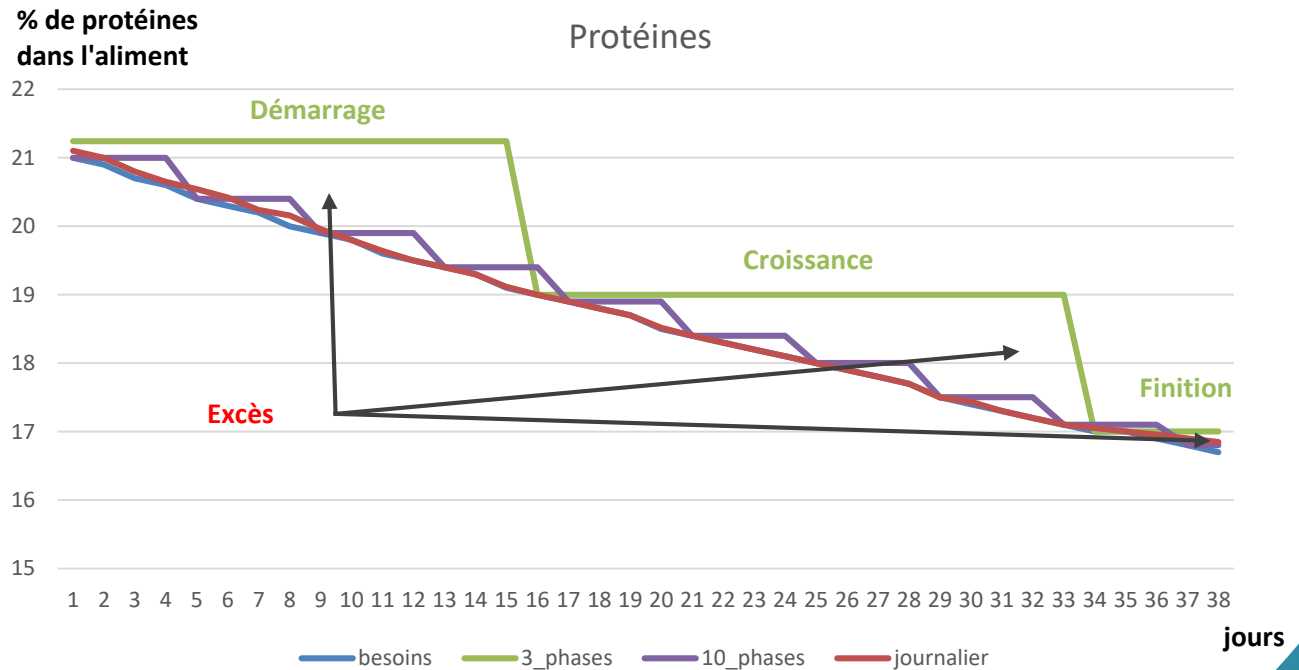
Alimentation avec 3 phases



Alimentation avec 10 phases

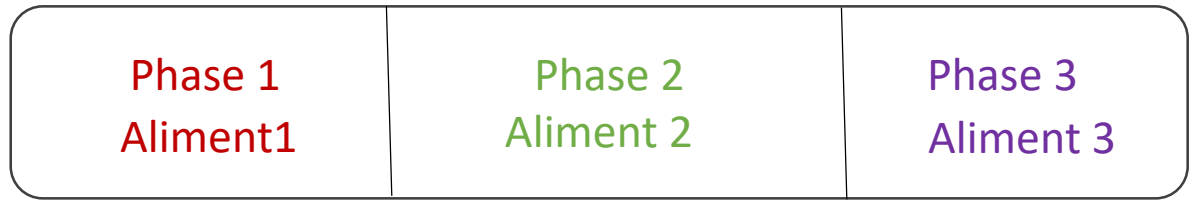


Alimentation journalière

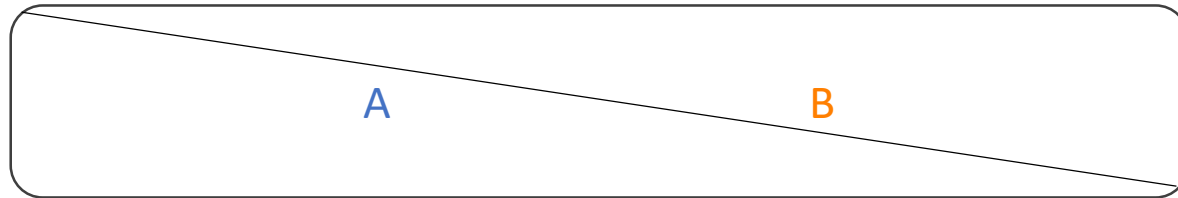




Contexte: Nouvelles stratégies alimentaires envisageables



Stratégie actuelle

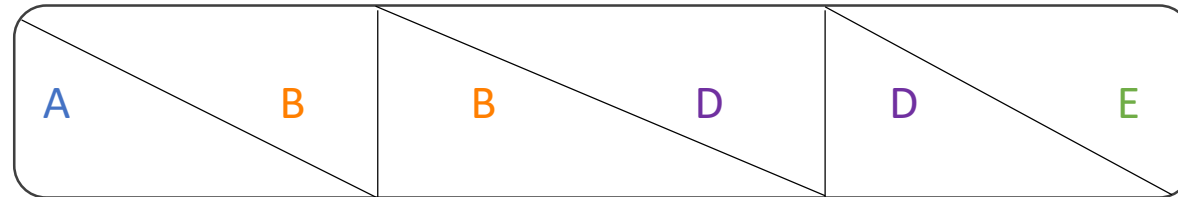


$$\alpha_k A + (1 - \alpha_k) B$$



2 pré-mélanges

α_k (%) variable
chaque jour

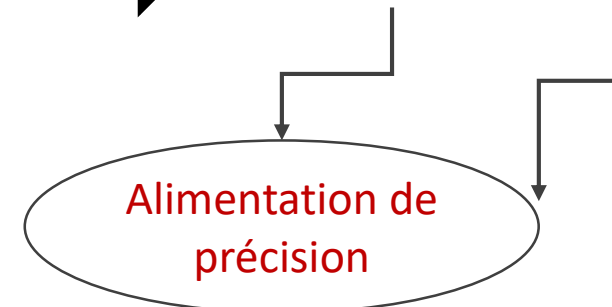


4 pré-mélanges

$$\alpha_{1k} A + (1 - \alpha_{1k}) B$$

$$\alpha_{3k} D + (1 - \alpha_{3k}) E$$

$$\alpha_{2k} B + (1 - \alpha_{2k}) D$$





Objectifs de stage

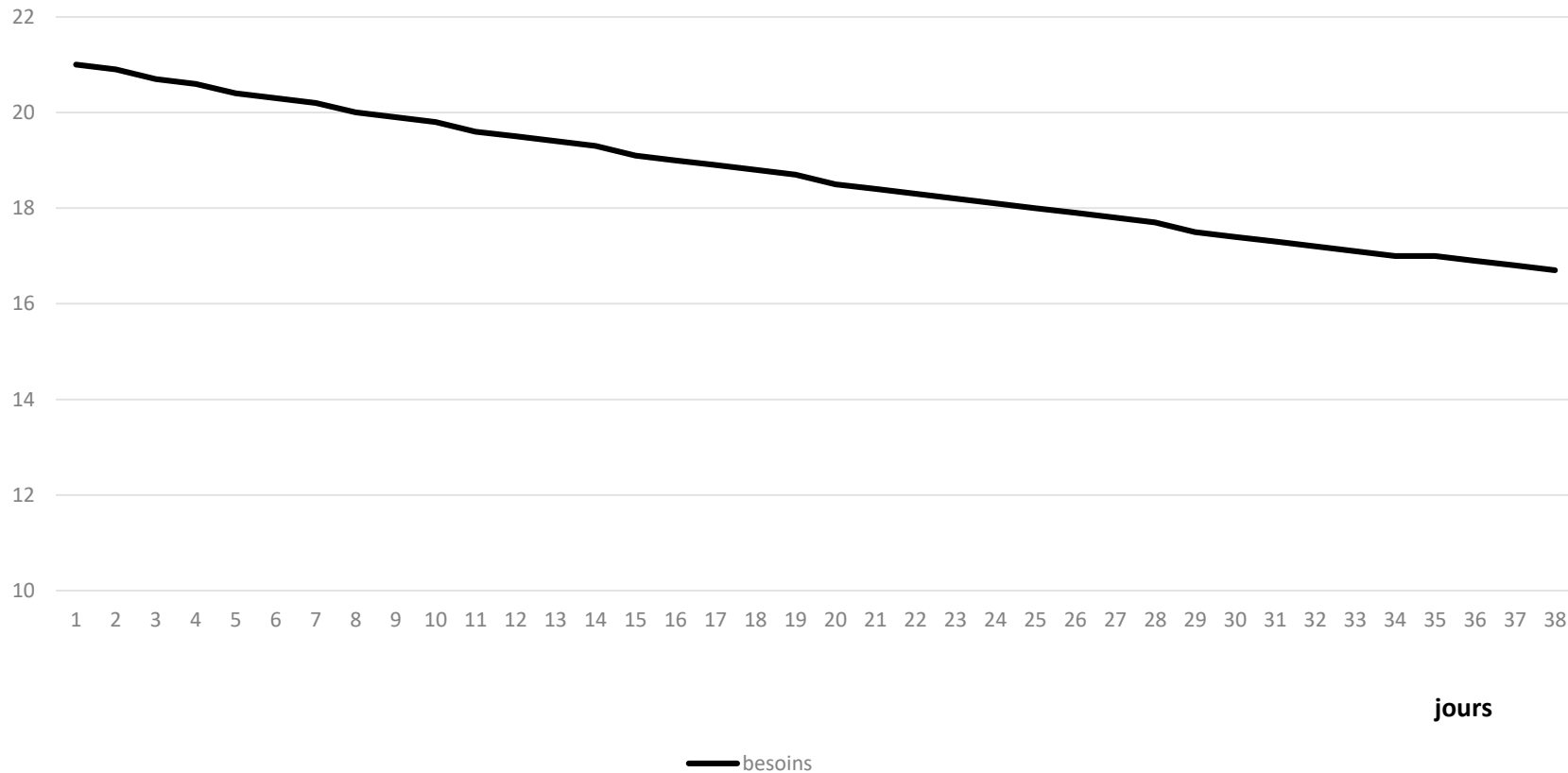
- ▶ Modéliser les différents problèmes de la formulation et trouver les modèles mathématiques correspondants.
- ▶ Implémenter informatiquement les modèles trouvés (AMPL)
- ▶ Résoudre numériquement les modèles.
- ▶ Déterminer l'effet des nouvelles stratégies sur certains indicateurs (coût alimentaire, composition de l'aliment en matières premières et nutriments, rejets) par rapport à la stratégie actuelle.



Contraintes par phase vs Contraintes journalières

Teneur de protéines (%)

Contraintes en protéines

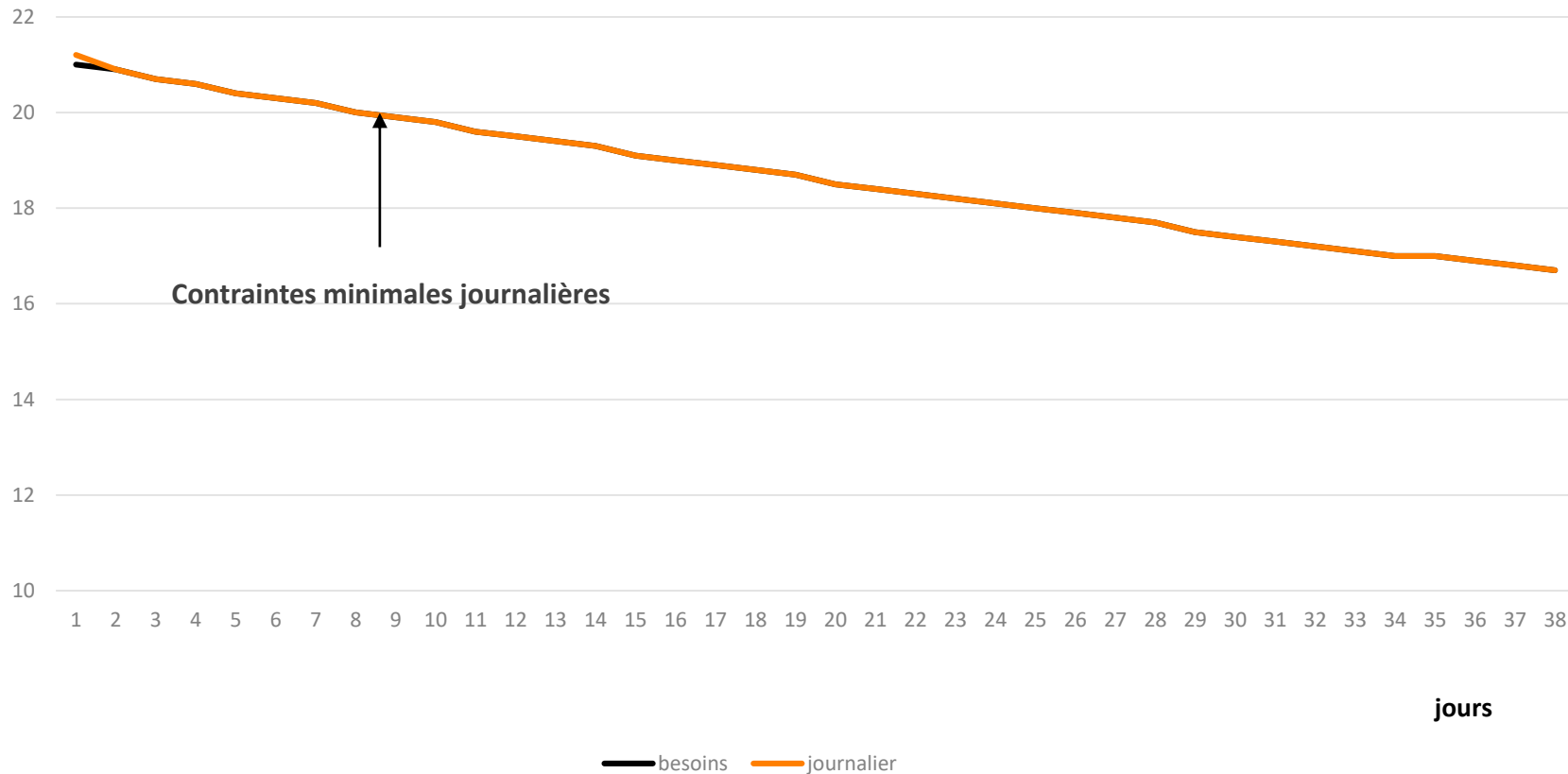




Contraintes par phase vs Contraintes journalières

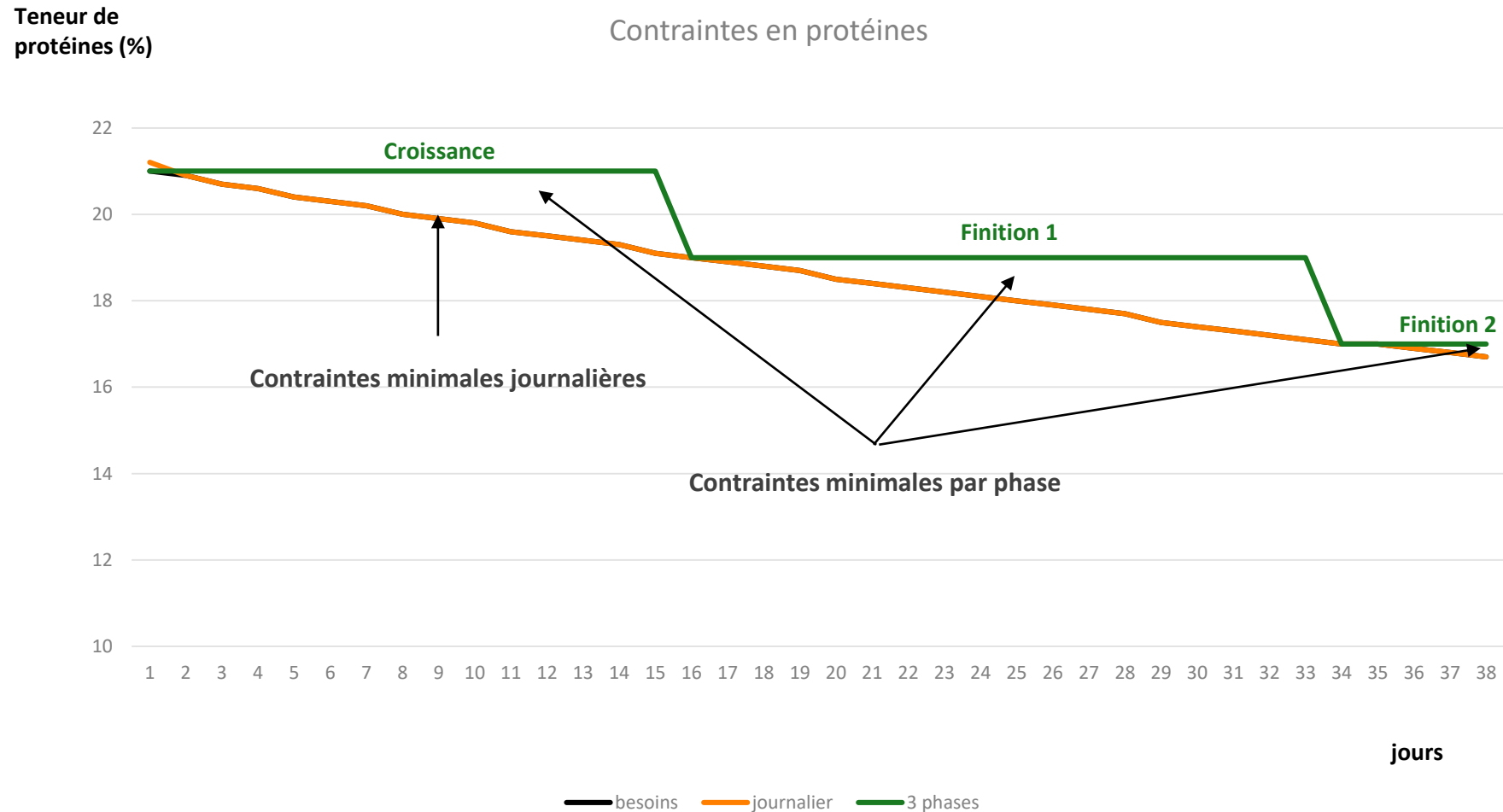
Teneur de protéines (%)

Contraintes en protéines





Contraintes par phase vs Contraintes journalières





Modèles mathématiques

Formulation par phases

$$\begin{array}{l}
 \text{PFS}_P(\mathbf{p}) \left\{ \begin{array}{l}
 \mathbf{Z}(\mathbf{p}) = \underset{\text{s.c}}{\text{Min}}_{\mathbf{x}(\mathbf{p})} \sum_{i=1}^m (c_i \mathbf{x}_i(\mathbf{p})) \\
 \\
 \mathbf{FSP_NL}_n(\mathbf{p}) \leq \sum_{i=1}^m s_{in} \mathbf{x}_i(\mathbf{p}) \leq \mathbf{FSP_NU}_n(\mathbf{p}) \quad \forall n \in \mathbf{N}, \forall i \in \mathbf{M} \quad \text{Contraintes nutritionnelles} \\
 \\
 \mathbf{FSP_ML}_i(\mathbf{p}) \leq \mathbf{x}_i(\mathbf{p}) \leq \mathbf{FSP_MU}_i(\mathbf{p}) \quad \forall i \in \mathbf{M} \quad \text{Contraintes MP} \\
 \\
 \mathbf{FSP_TL}_h(\mathbf{p}) \leq \sum_{i \in M_{kh}} \mathbf{x}_i(\mathbf{p}) \leq \mathbf{FSP_TU}_h(\mathbf{p}) \quad \forall h \in \{1, \dots, \mathbf{H}\} \quad \text{Contraintes TMP} \\
 \\
 \sum_{i=1}^m \mathbf{x}_i(\mathbf{p}) = 100 \%
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Optimiser l'aliment \mathbf{x}  Optimisation linéaire.

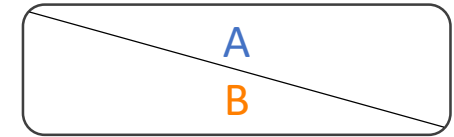
$\mathbf{Z}(\mathbf{p})$  le coût de l'aliment pour la phase \mathbf{p} .



Modèles mathématiques

Formulation avec 2 pré-mélanges

$$\begin{array}{l}
 \text{PFP_2P} \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Min}_{\alpha_k, A, B} [\sum_{k \in \text{PE}} I_k (C_A \alpha_k + C_B (1 - \alpha_k))] \\
 \text{s.c} \\
 A_i, B_i \geq 0 \quad \forall i \in M \\
 \sum_{i=1}^m (A_i) = 100\% \text{ Et } \sum_{i=1}^m (B_i) = 100\% \\
 0 \leq \alpha_k \leq 1 \quad \forall k \in \text{PE} \\
 F2P_ML_{ik} \leq \alpha_k A_i + (1 - \alpha_k) B_i \leq F2P_MU_{ik} \quad \forall k \in \text{PE} \quad \forall i \in M \\
 F2P_TL_{hk} \leq \alpha_k \sum_{i \in \{M_h\}} (A_i) + (1 - \alpha_k) \sum_{i \in \{M_h\}} (B_i) \leq F2P_TU_{hk} \quad \forall k \in \text{PE} \quad \forall h \in \{1, \dots, H\} \\
 F2P_NL_{nk} \leq \alpha_k \sum_{i=1}^m (A_i N_i[n]) + (1 - \alpha_k) \sum_{i=1}^m (B_i N_i[n]) \leq F2P_NU_{nk} \quad \forall k \in \text{PE} \quad \forall n \in N
 \end{array} \right.
 \end{array}$$



Contraintes proportions

Contraintes MP

Contraintes TMP

Contraintes nutritionnelles

Optimisation des pré-mélanges
Optimisation des proportions

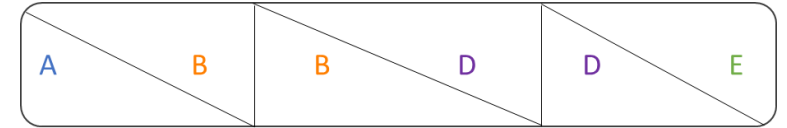


Problème d'optimisation non linéaire (bilinéaire) non convexe



Modèles mathématiques

Formulation avec 4 pré-mélanges



Fonction objectif

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

Phase 1

Coût de A

Coût de B

Proportion à utiliser de A

Consommation au jour k



Modèles mathématiques

Formulation avec 4 pré-mélanges

Contraintes nutritionnelles

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

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

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



Modèles mathématiques

Formulation avec 4 pré-mélanges

Contraintes matières premières et totaux matières premières

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

$$\forall i \in M$$

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

$$0 \leq \alpha_k \leq 1$$

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

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

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

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

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

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

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



Résolution numérique des modèles mathématiques

- ▶ Les modèles sans pré-mélanges → linéaire → Minos.
- ▶ Les modèles avec pré-mélanges → non linéaire (bilinéaire) non convexe → Knitro.



Résultats et discussion

Indicateurs de comparaison des résultats des différentes stratégies

1- Coût d'alimentation:

- + Pour les problèmes sans pré-mélanges : Fonction objectif * Consommation
- + Pour les problèmes avec pré-mélanges : Fonction objectif

2- Rejets (azote (N), phosphore (P)):

- + N excrété = N ingéré – N retenu
- + P excrété = P ingéré – P retenu

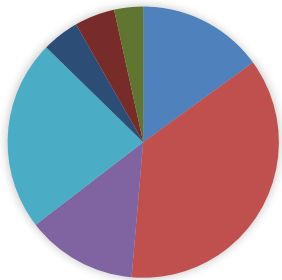


Résultats et discussion

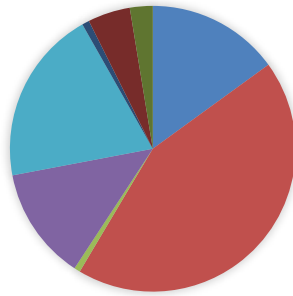
Formulation à moindre coût par phases

Composition en matières premières

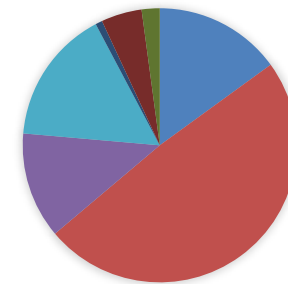
PHASE1



PHASE2



PHASE3



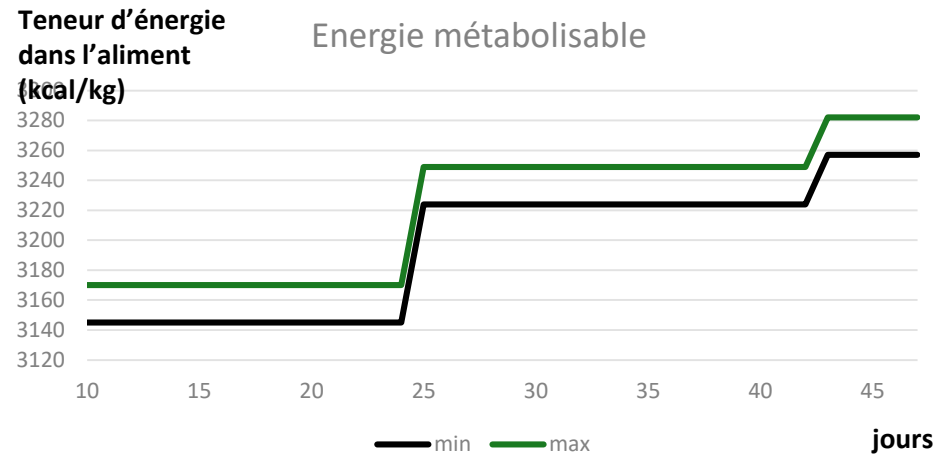
- Blé Tendre
- Tourteau de soja
- Tourteau de tournesol
- Graines
- Maïs grains
- Huiles
- M+Pr+AA
- Coproduits céréales



Résultats et discussion

Formulation à moindre coût par phases

Composition en nutriments

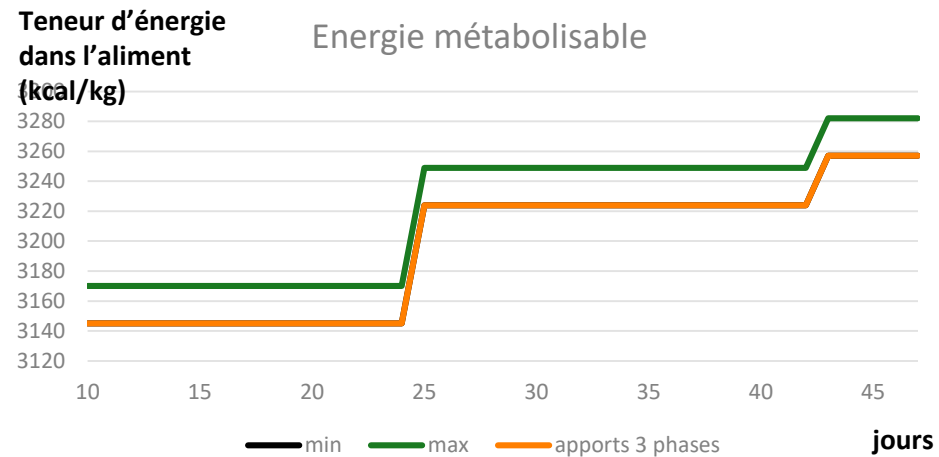




Résultats et discussion

Formulation à moindre coût par phases

Composition en nutriments

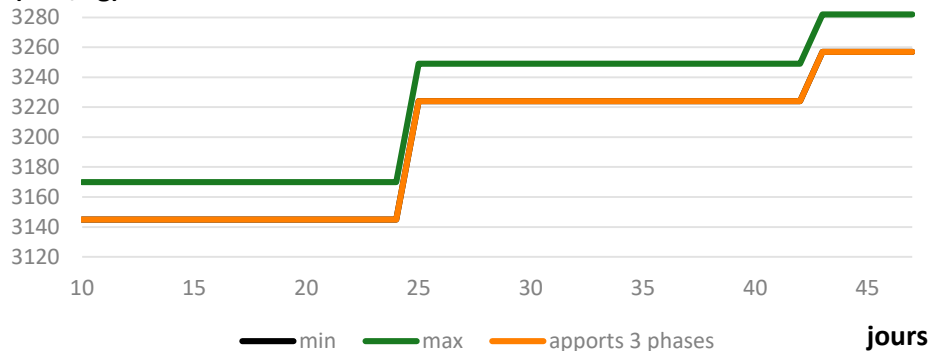




Résultats et discussion

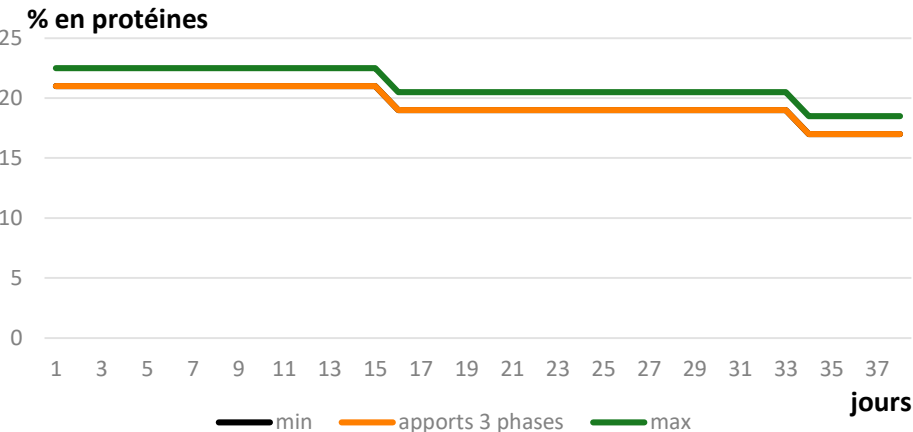
Formulation à moindre coût par phases

Teneur d'énergie dans l'aliment (kcal/kg)



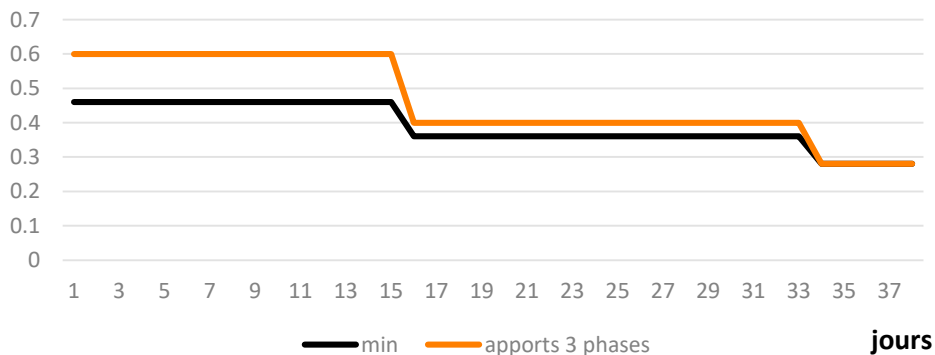
Composition en nutriments

Protéines



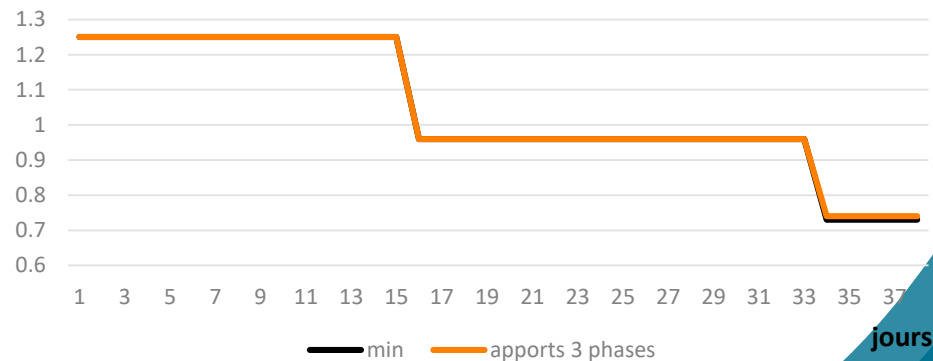
% en méthionine

Méthionine



% en lysine

Lysine

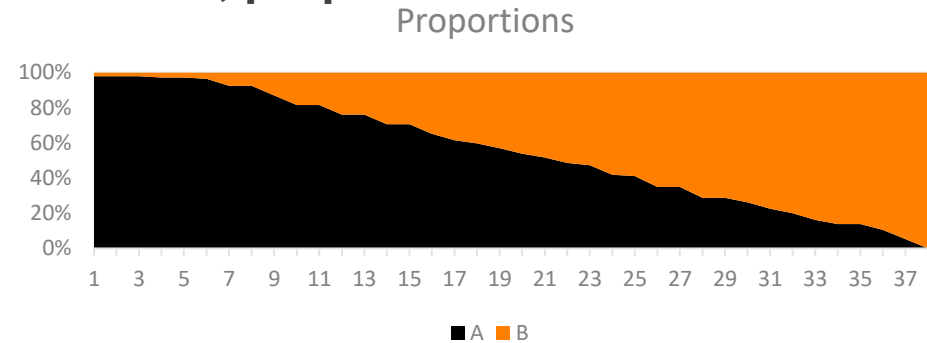
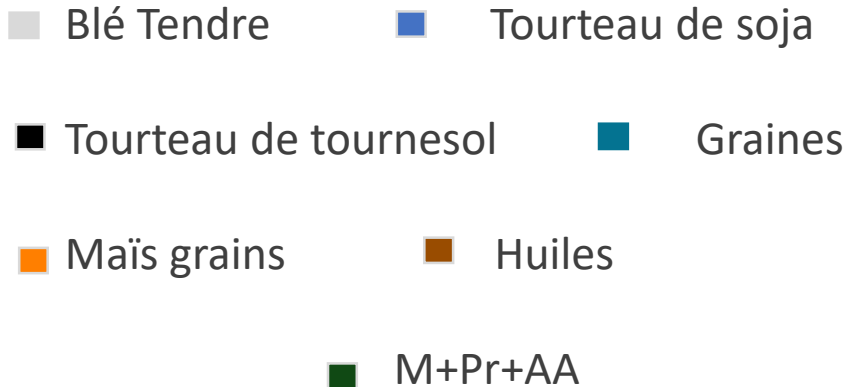
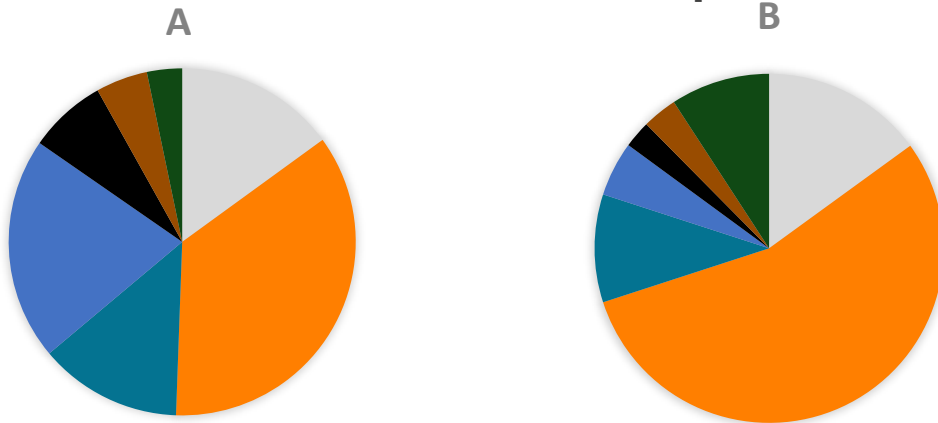




Résultats et Discussion

Formulation avec 2 pré-mélanges

Composition en MP et nutriments, proportions



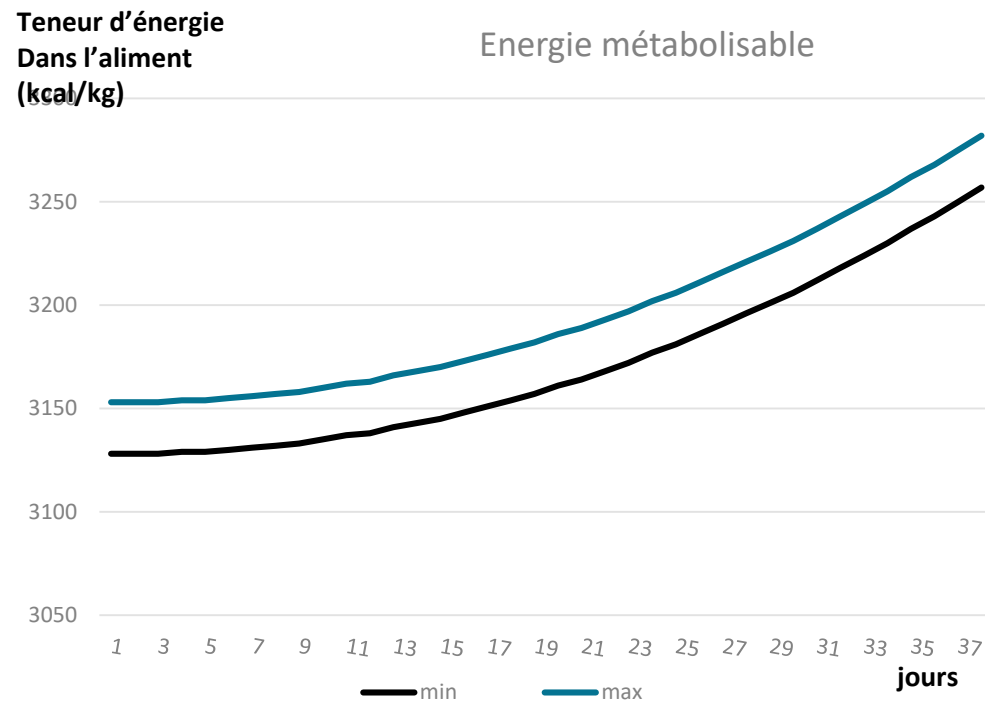
Nutriments	A	B
Energie métabolisable (kcal)	3125	3257
Protéines (%)	21	18
Lysine (%)	1,2	0,7
Méthionine (%)	0,6	0,3



Résultats et discussion

Formulation avec 2 pré-mélanges

Comparaison de l'évolution de certains nutriments

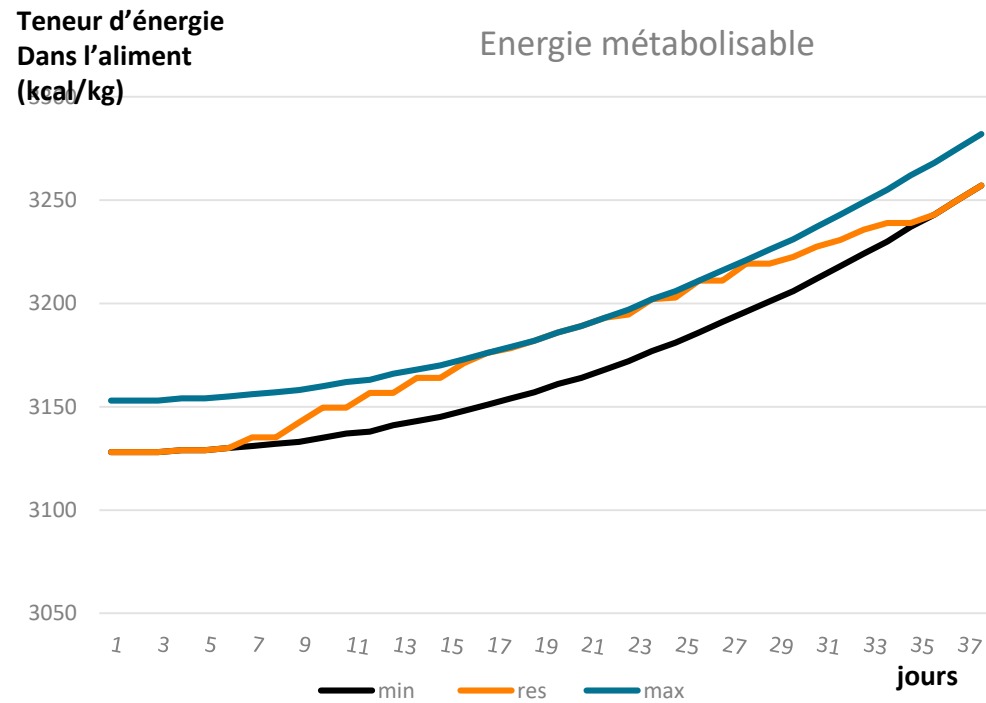




Résultats et discussion

Formulation avec 2 pré-mélanges

Comparaison de l'évolution de certains nutriments

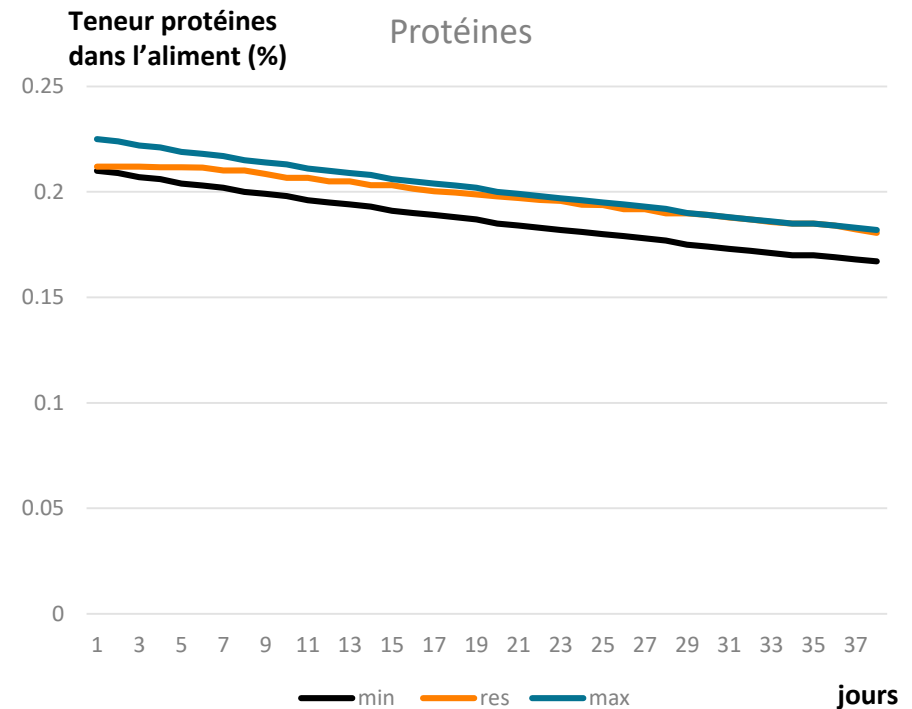
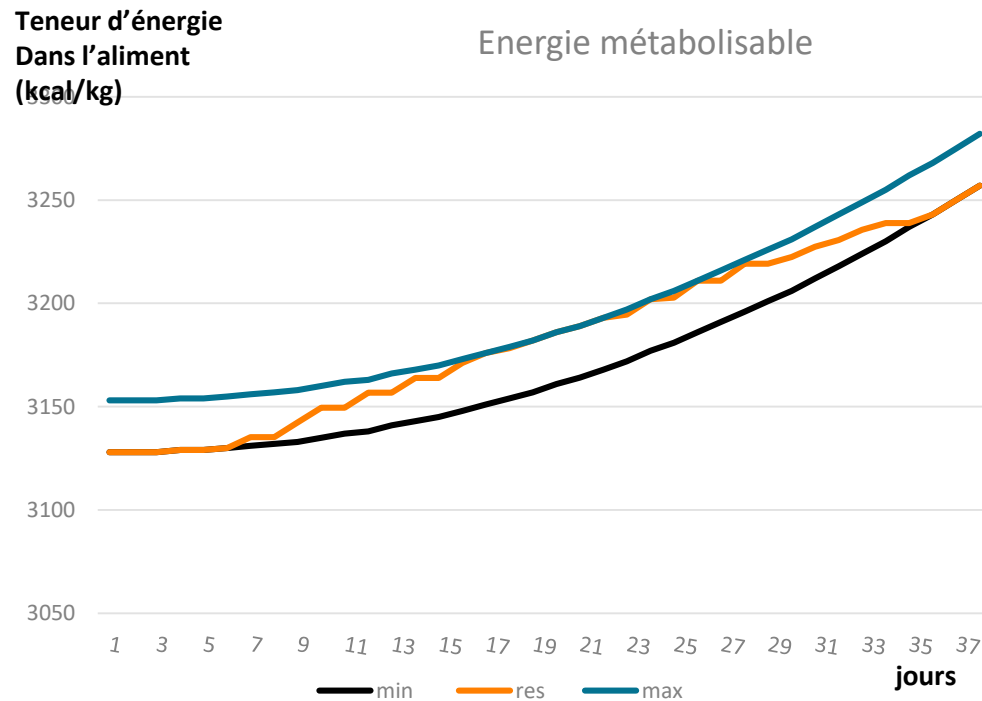




Résultats et discussion

Formulation avec 2 pré-mélanges

Comparaison de l'évolution de certains nutriments

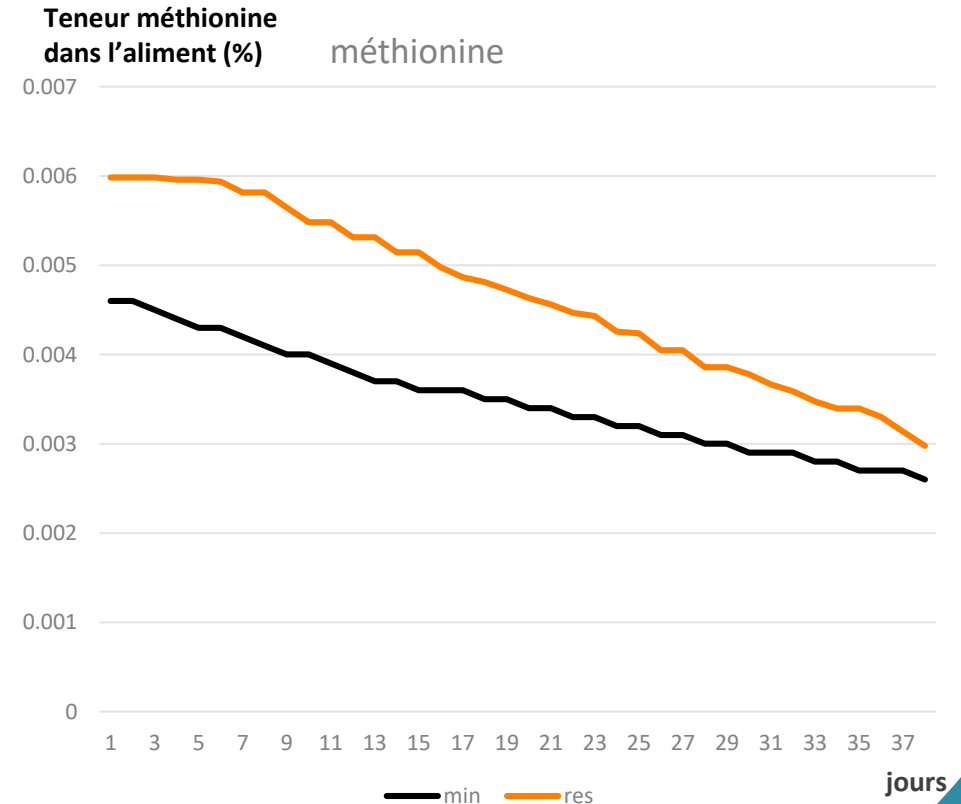
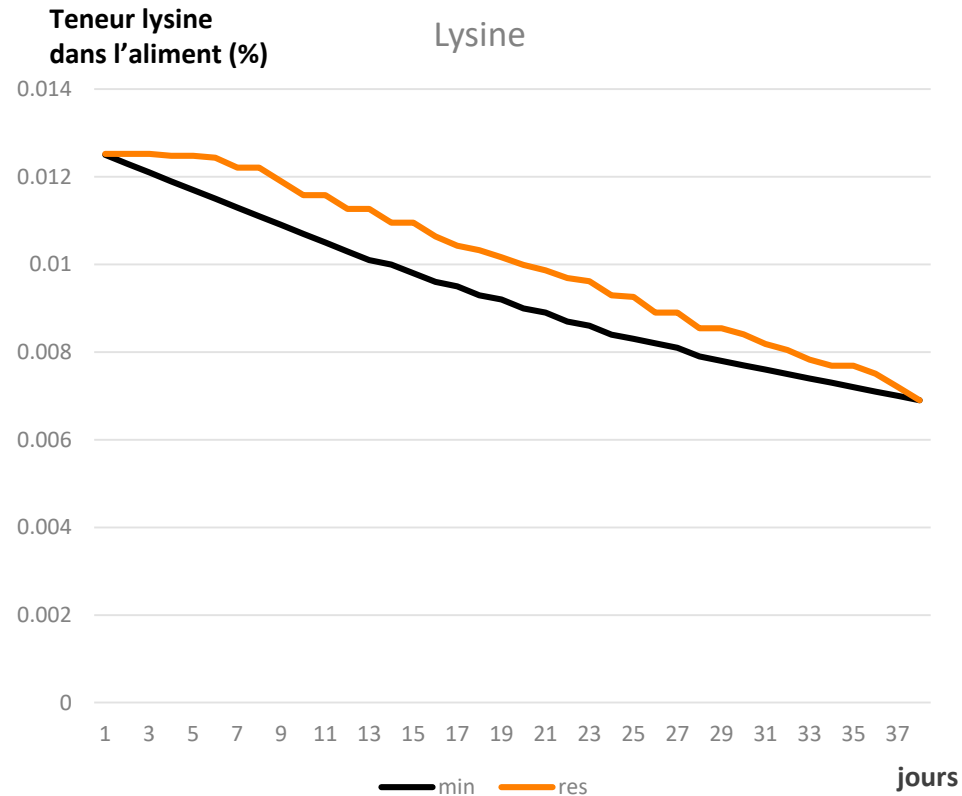




Résultats et discussion

Formulation avec 2 pré-mélanges

Comparaison de l'évolution de certains nutriments

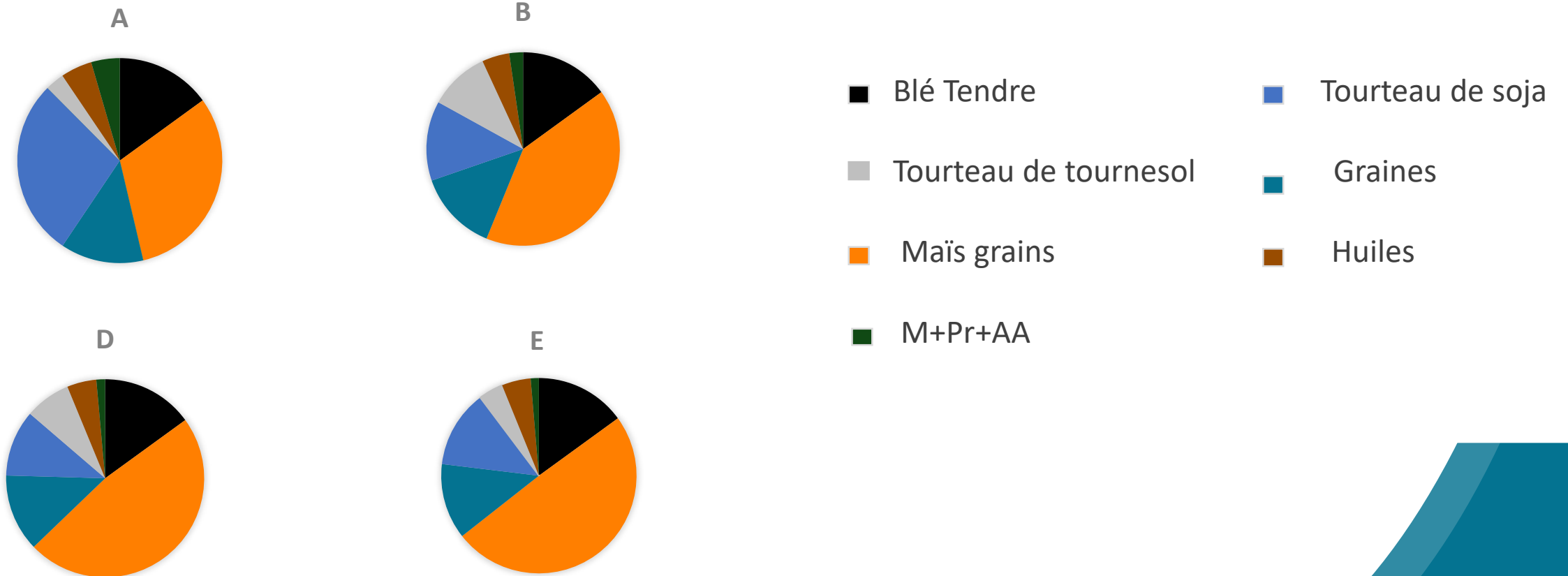




Résultats et discussion

Formulation avec 4 pré-mélanges

Composition en matières premières





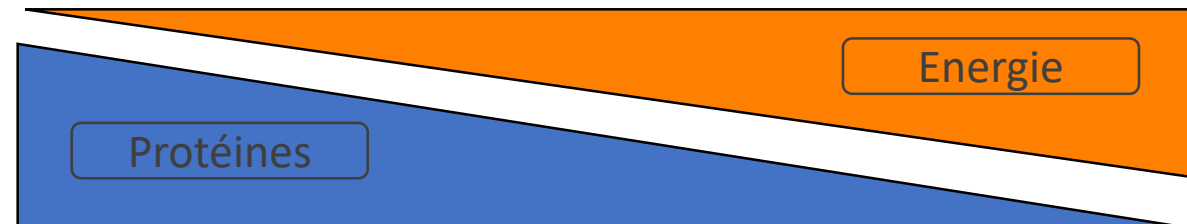
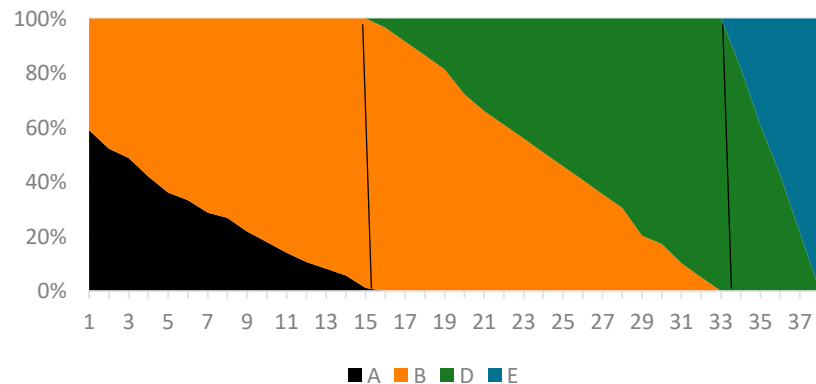
Résultats et discussion

Formulation avec 4 pré-mélanges

Composition en nutriments, proportions

Nutriments	A	B	D	E
Energie métabolisable (kcal)	3116	3145	3224	3257
Protéines (%)	23	19	17	16,8
Lysine (%)	1,5	0,97	0,74	0,72
Méthionine (%)	0,7	0,4	0,28	0,26

Proportions

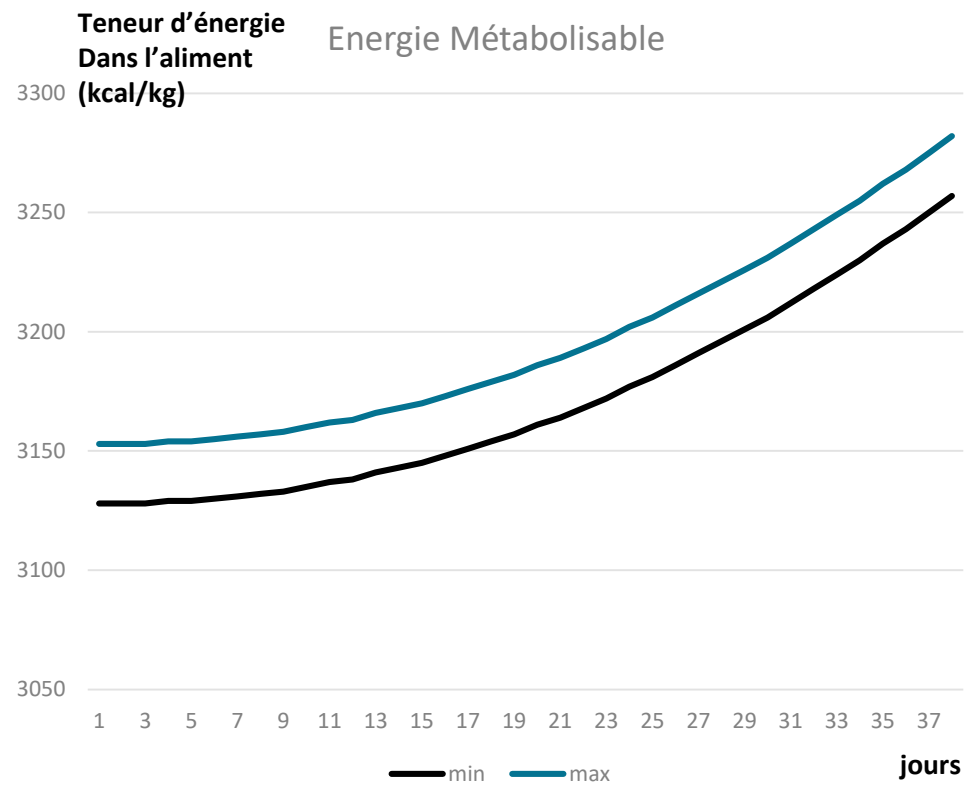




Résultats et discussion

Formulation avec 4 pré-mélanges

Comparaison de l'évolution de certains nutriments

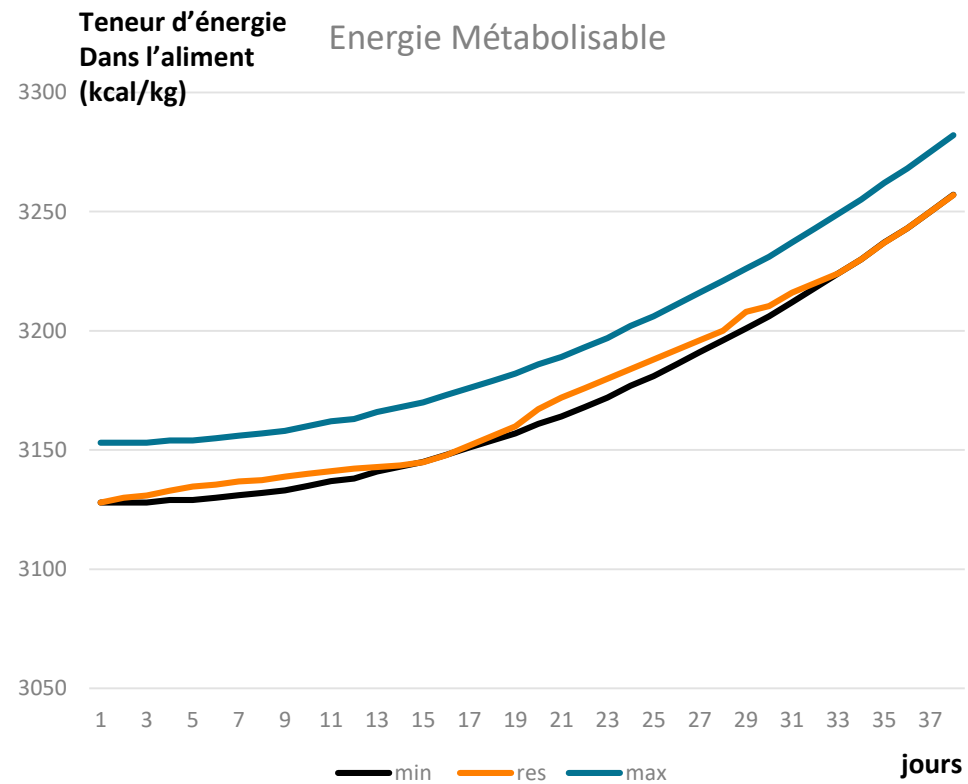




Résultats et discussion

Formulation avec 4 pré-mélanges

Comparaison de l'évolution de certains nutriments

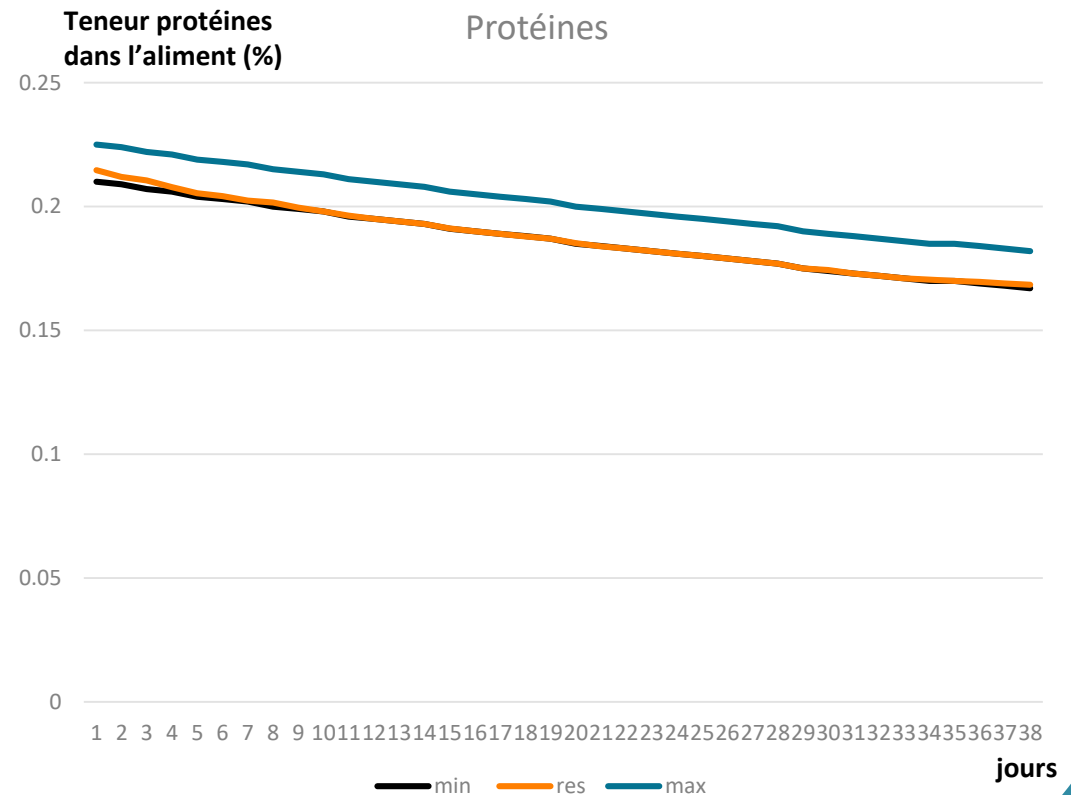
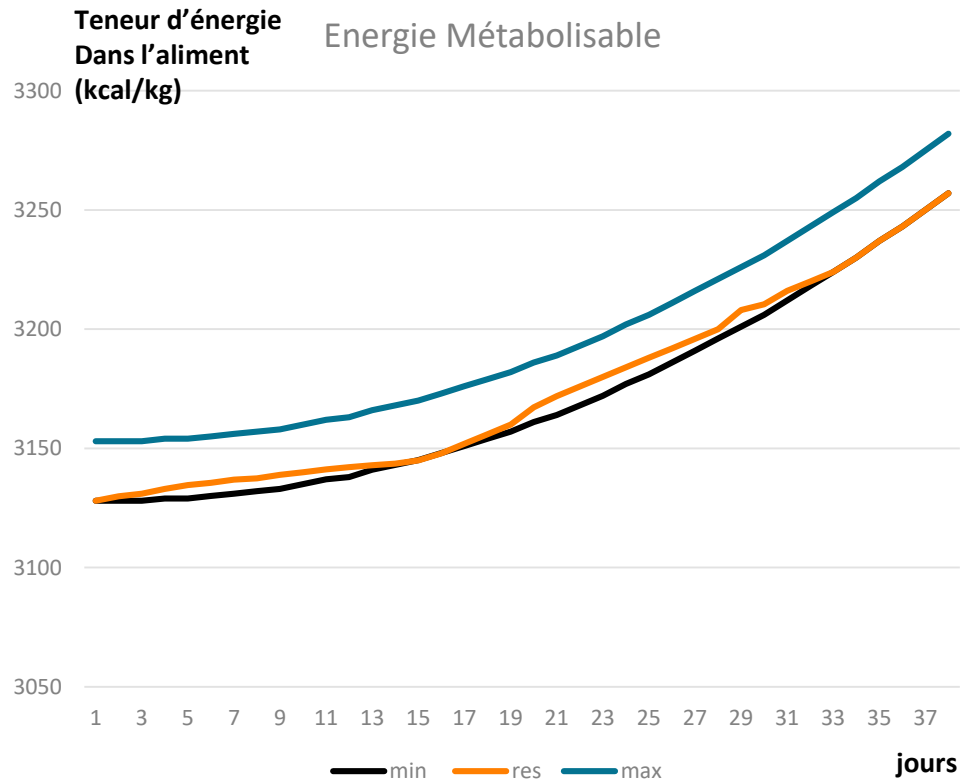




Résultats et discussion

Formulation avec 4 pré-mélanges

Comparaison de l'évolution de certains nutriments

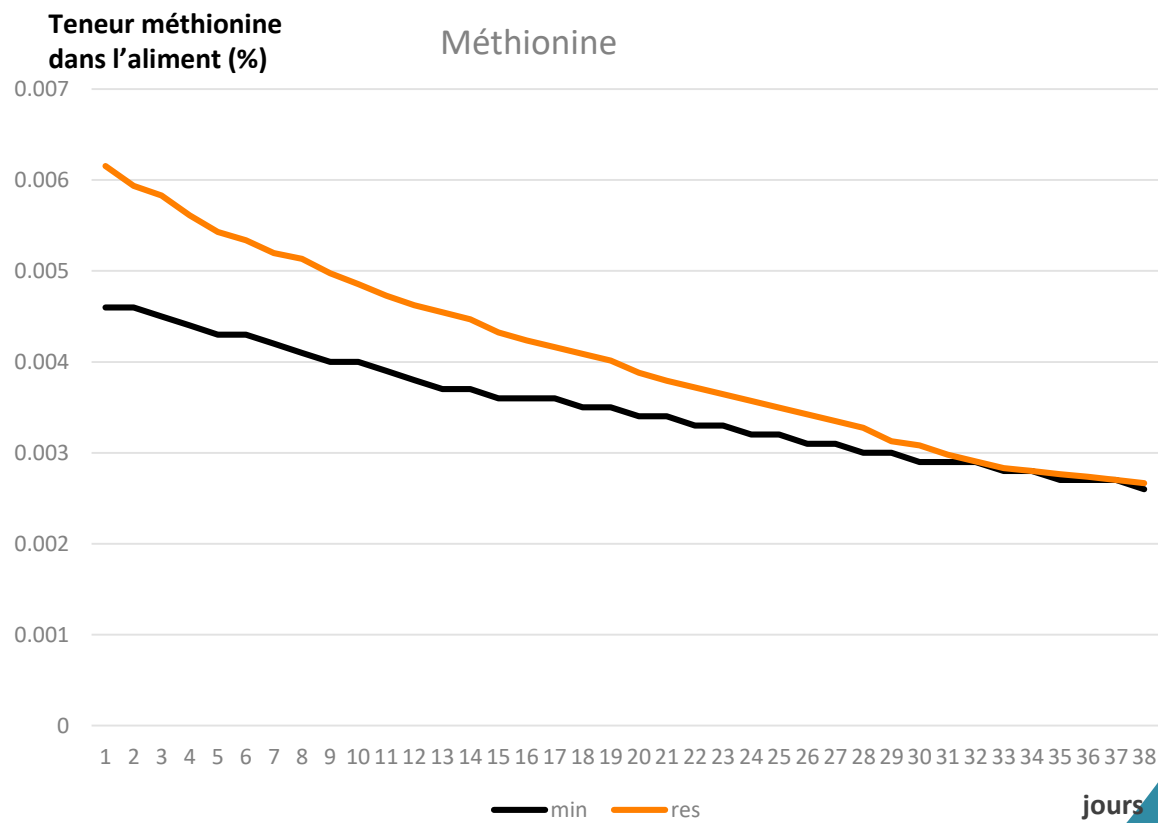
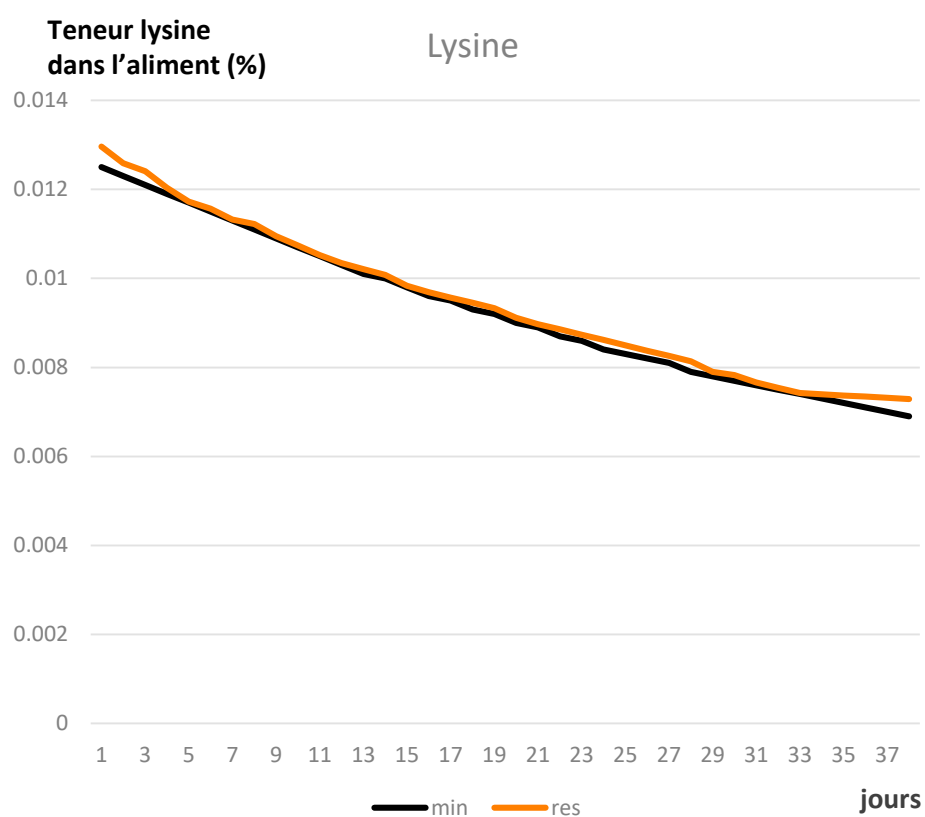




Résultats et discussion

Formulation avec 4 pré-mélanges

Comparaison de l'évolution de certains nutriments

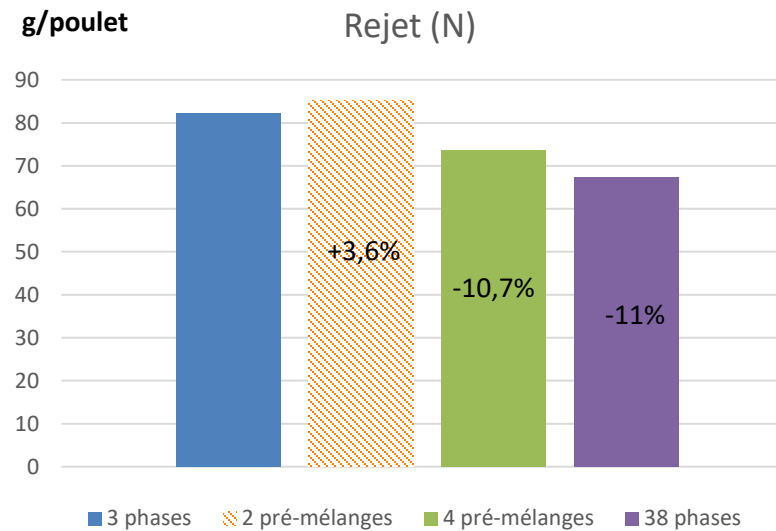




Résultats et discussion

Formulation avec pré-mélanges et sans pré-mélanges

Comparaison des rejets et de coût alimentaire

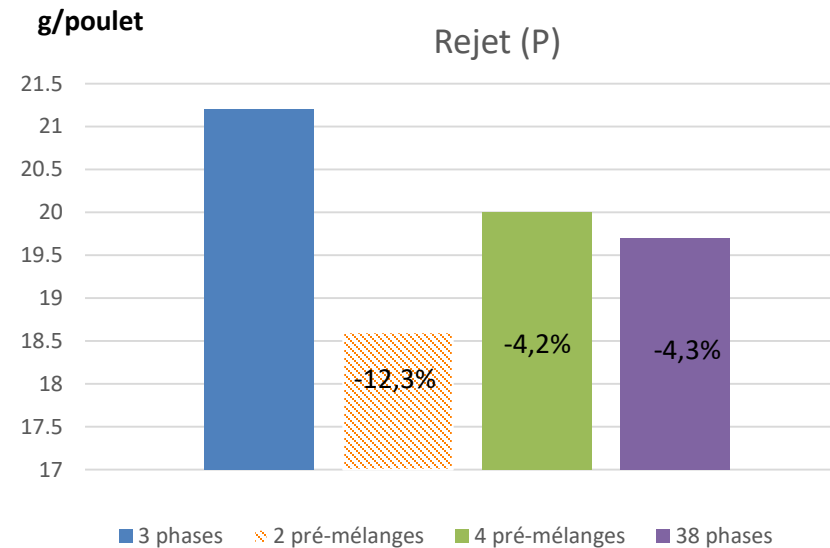
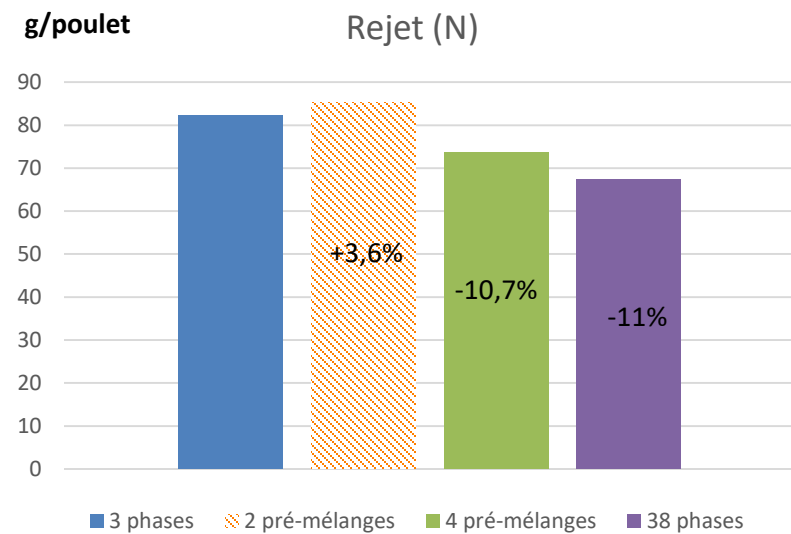




Résultats et discussion

Formulation avec pré-mélanges et sans pré-mélanges

Comparaison des rejets et de coût alimentaire

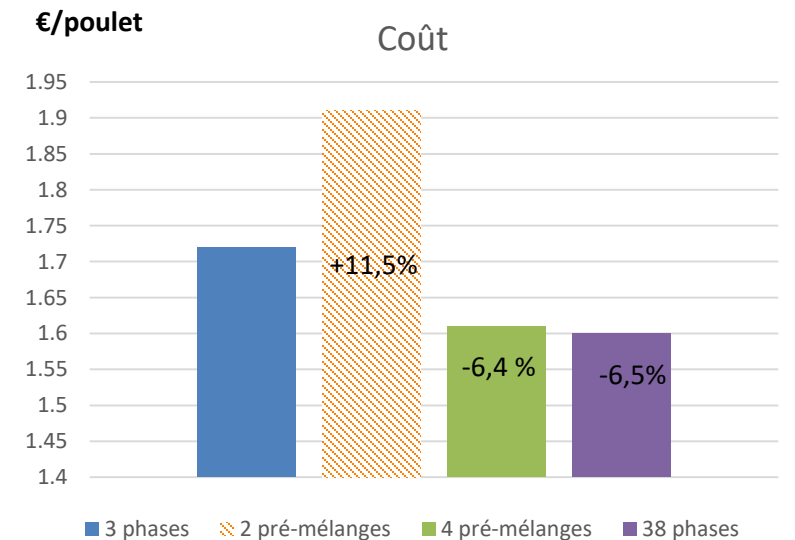
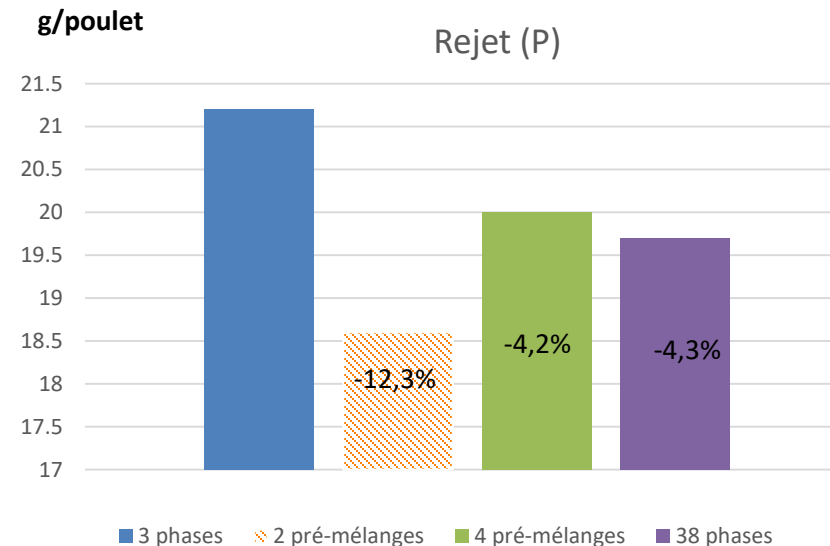
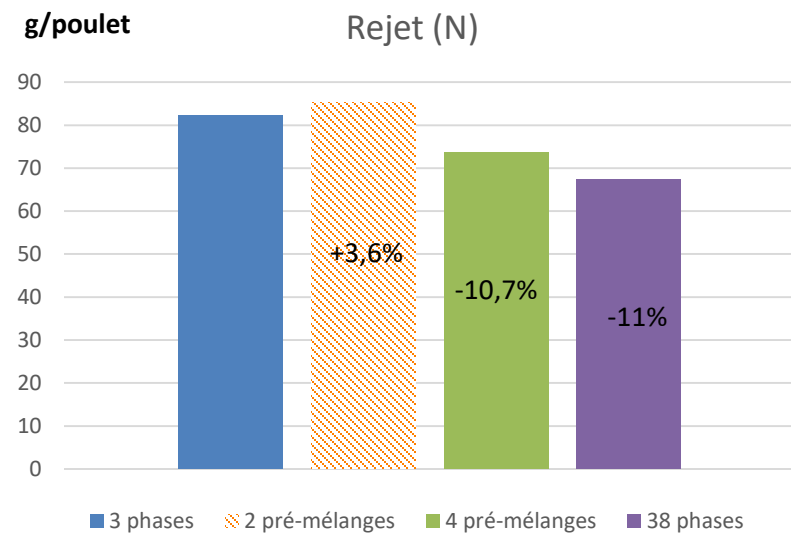




Résultats et discussion

Formulation avec pré-mélanges et sans pré-mélanges

Comparaison des rejets et de coût alimentaire





Conclusion

Formulation avec 4 pré-mélanges



1- faisable.

2- aussi performante que la meilleure stratégie possible (formulation à phases journalières).

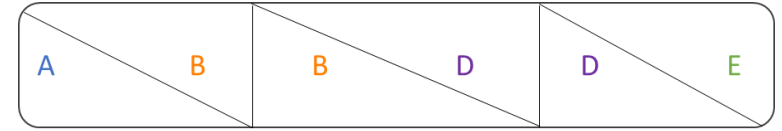


Suite proposée

- ▶ **Essai expérimental → validation**
- ▶ **Passage au terrain :**
 - ▶ Adapter les outils de formulation (FAB)
 - ▶ Adapter le matériel en élevage (peseuse-mélangeuse)
- ▶ **Passage au terrain : robustesse.**
- ▶ **Minimiser le coût alimentaire + les rejets (azote (N) et phosphore total (P)).**



Merci de votre attention



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

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

$\forall i \in M$

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

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

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

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

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

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

PFP_4P

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

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

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

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

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

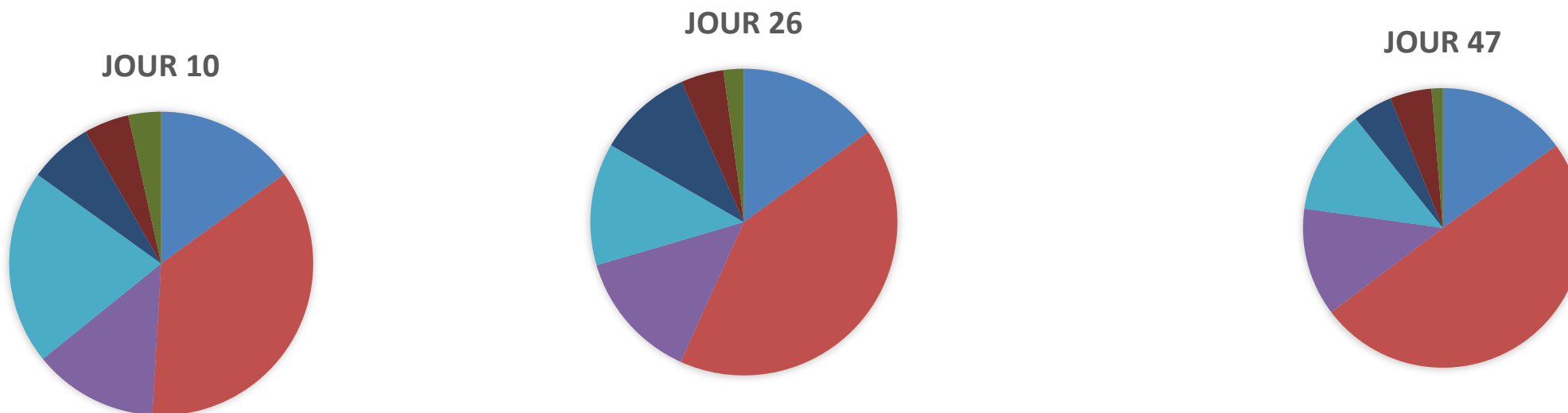
$$F4P_NL_{nk} \leq \alpha 3_k \sum_{i=1}^m (D_i N_i[n]) + (1 - \alpha 3_k) \sum_{i=1}^m (E_i N_i[n]) \leq F4P_NU_{nk} \quad \forall k \in \text{PE3} \quad \forall n \in N$$



Résultats et discussion

Formulation à moindre coût journalière

Composition en matières premières



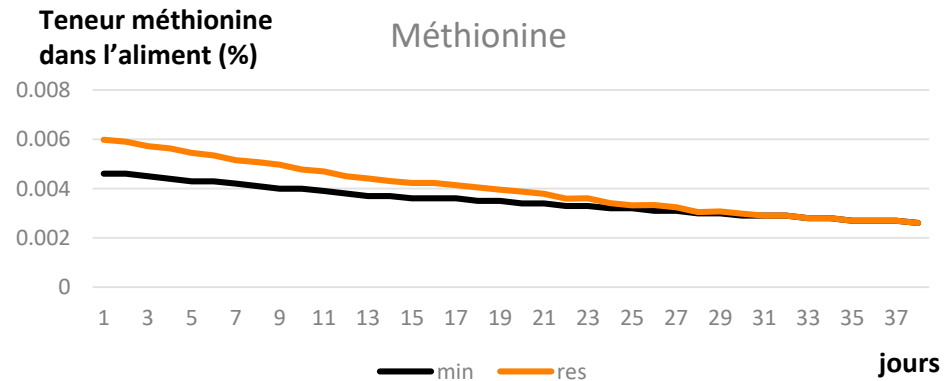
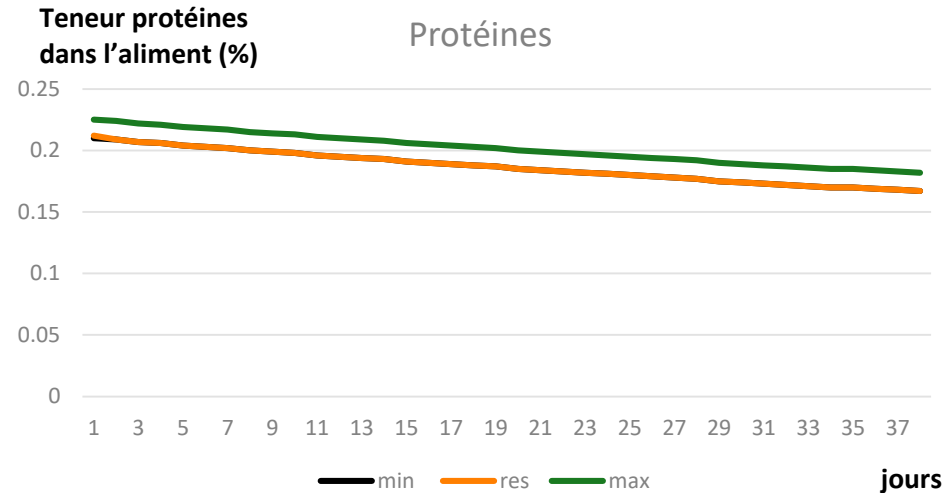
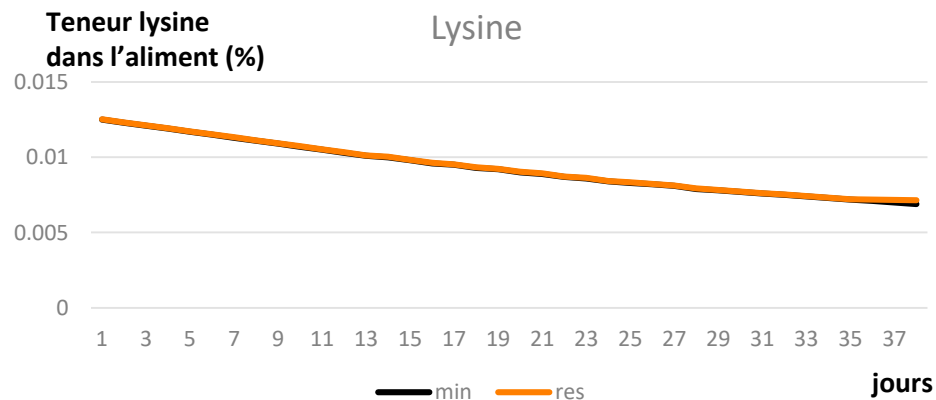
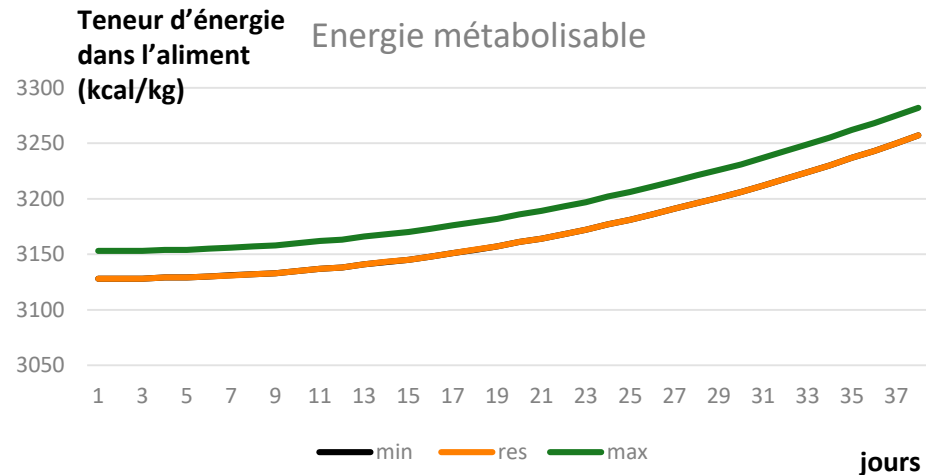
- Blé Tendre
- Tourteau de soja
- Tourteau de tournesol
- Graines
- Maïs grains
- Huiles
- M+Pr+AA



Résultats et discussion

Formulation à moindre coût journalière

Evolution des nutriments

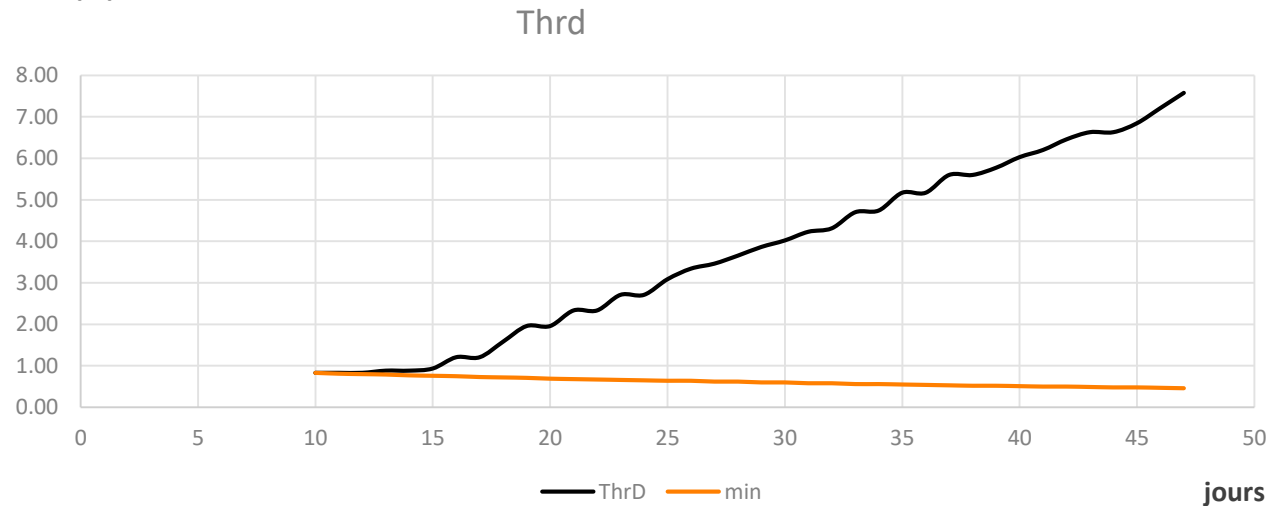




Résultats et discussion

Formulation avec 2 pré-mélanges

Teneur en thréonine
dans l'aliment (%)



- 1- besoin en énergie aux derniers jours.
- 2- compléter l'aliment tout en respectant les contraintes.



Résolution numérique des modèles mathématiques

- ▶ Les modèles sans pré-mélanges → linéaire → Minos.
- ▶ Les modèles avec pré-mélanges → non linéaire (bilinéaire) non convexe → Knitro.

Les techniques:

1- Multi-Start.

2- Point admissible + optimisation après.