



30 ans

# 16<sup>e</sup> Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

21, 22 et 23 novembre 2023

Palais des congrès de Tours

30 ans

# 16<sup>e</sup> Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE



Optimisation de la fertilisation azotée  
à l'échelle des systèmes de culture  
dans un contexte économique tendu

Aristide Olou

# Contexte et objectif



comifer Gemas

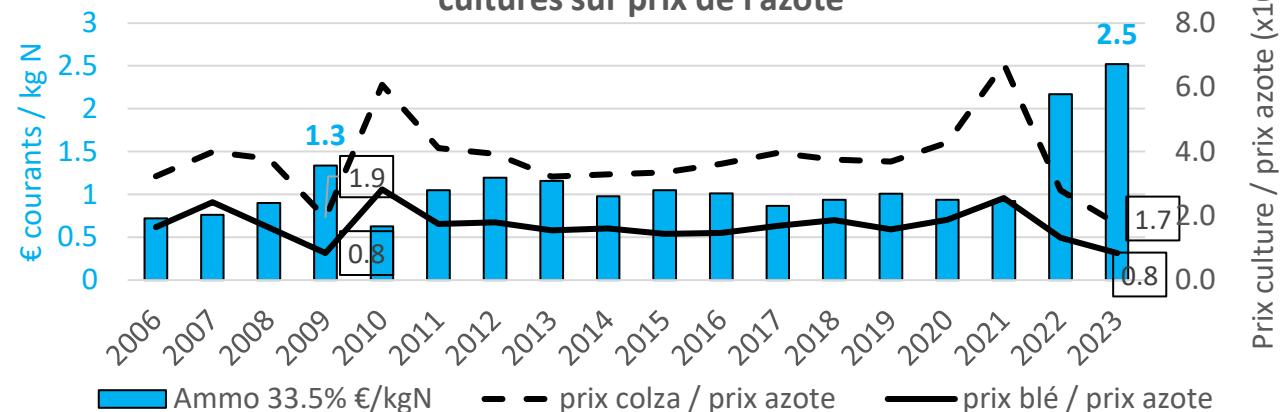
## Contexte

- Variabilité et flambée des prix des engrais (2022-2023, 2008-2009,...)
- Risques de pénurie et tensions sur les approvisionnements des engrais
- Evolution de la réglementation et volonté des politiques de réduire l'usage des fertilisants minéraux (farm to fork,...)
- Travaux des instituts à l'échelle de la culture

## Objectif

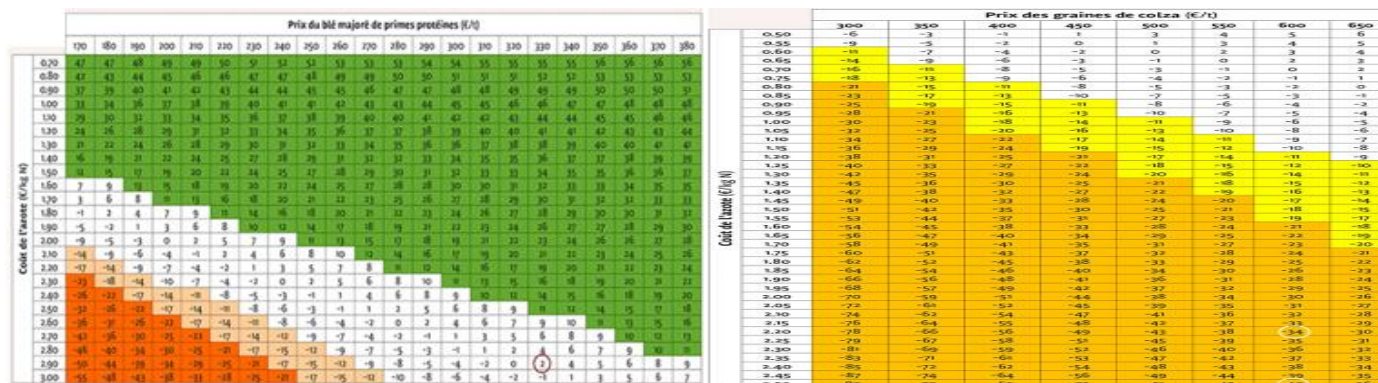
- Déterminer, dans un système où l'assolement est fixé, la quantité d'azote à apporter sur chaque culture pour atteindre l'optimum technico-économique global tout en ayant la possibilité d'appliquer une contrainte de disponibilité de l'azote

Evolution du prix d'achat de l'ammonitrate et des ratios prix de cultures sur prix de l'azote



Sources : Observatoire prix Arvalis, Terre net, Ipampa

Matrices d'ajustement des doses en fonction des prix des cultures (blé, colza) et du prix de l'azote



# Méthodologie



comifer Gemas

## Etapes de recherche de l'optimum technico-économique à l'échelle du système de culture

- Courbes de réponse à l'azote du rendement par classes de dose d'azote optimale
- Courbes de réponse du taux de protéines

Courbes de réponse



- Assolement
- Rendements (à l'OT)
- Doses d'azote apportées (à l'OT)
- Quantité d'azote disponible (Q)
- Teneur en protéines et en huile

Données d'entrée



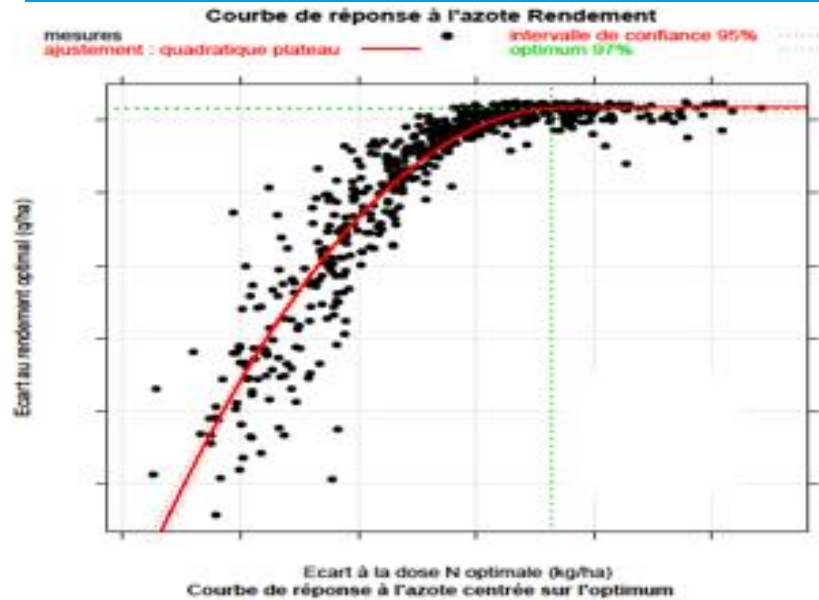
- Prix cultures (€/t)
- Prix N (€/kg N)
- Grille de paiement de la protéine/huile
- Quantité d'azote disponible

Scénarios

OT : Optimum technique

## Construction des courbes de réponse à l'azote par culture

Courbe centrée sur l'optimum de rendement (et protéines pour CAP)



# Méthodologie



## Etapes de recherche de l'optimum technico-économique à l'échelle du système de culture

- Courbes de réponse à l'azote du rendement par classes de dose d'azote optimale
- Courbes de réponse du taux de protéines

Courbes de réponse



- Assolement
- Rendements (à l'OT)
- Doses d'azote apportées (à l'OT)
- Quantité d'azote disponible (Q)
- Teneur en protéines et en huile

Données d'entrée



- Prix cultures (€/t)
- Prix N (€/kg N)
- Grille de paiement de la protéine/huile
- Quantité d'azote disponible

Scénarios

OT : Optimum technique

**Maximisation de la « Marge azote » totale qui dépend des prix des cultures et de l'azote, de la rémunération de la qualité, des rendements et des surfaces**

Sous contrainte :

Quantité d'azote disponible

Programme d'optimisation avec contrainte  
- logiciel R -



$$\begin{aligned} & \text{Marge azote totale} \\ & = \\ & \Sigma ( \text{Prix\_cult} + \text{Rémun\_qualité} ) \times \text{Rdt\_cult} \times \text{Surface\_cult} \\ & - \\ & \Sigma ( \text{Prix\_azote} \times \text{Qtité\_azote\_utilisée} \times \text{Surface\_cult} ) \end{aligned}$$



Résultats à l'optimum technico économique

- Quantité d'azote utilisée à l'exploitation et par culture
- Rendement par culture
- Taux en protéines ou en huile par culture
- Marge azote à l'exploitation et par culture

\* En valeur absolue et en écart par rapport à l'OT

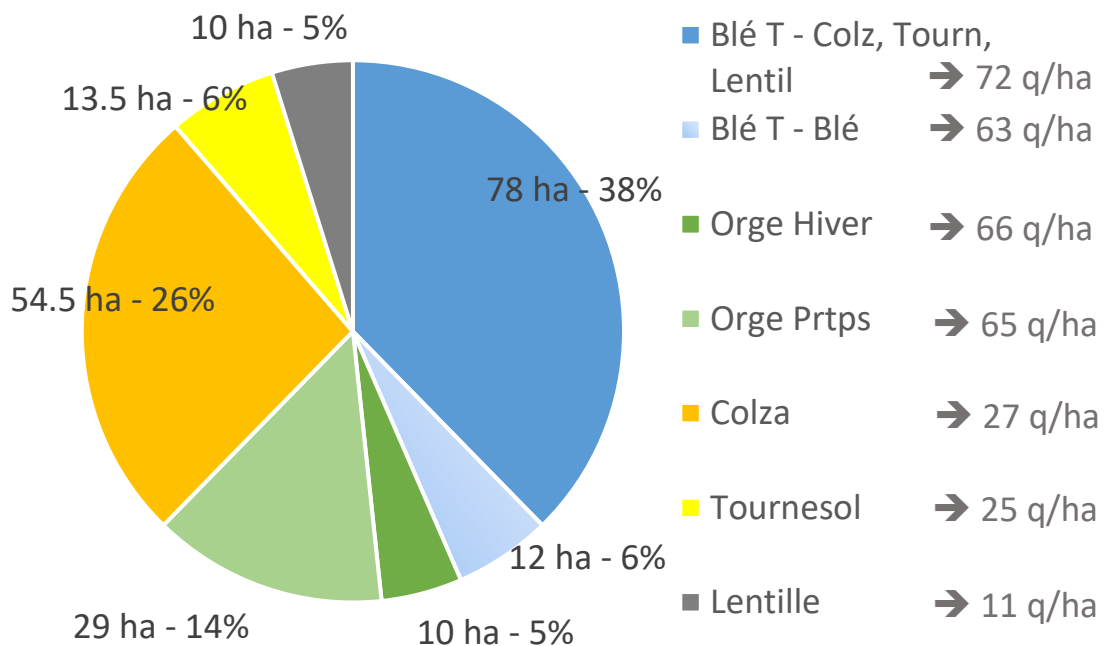




### Présentation du système de culture étudié et hypothèses

- **Système issu des sols argilo-calcaire moyen de la ferme type Champagne Berrichonne sec**

#### Assolement - SAU = 207 ha



#### Hypothèse : on est à l'optimum technique (2018-2021)

- **Quantité d'azote disponible système : 154 kg/ha**
- **Dose d'azote apportée par culture :**  
62 kg/ha (Tournesol) à 192 kg/ha (Blé de blé)
- **Teneur en protéines/huile : aux normes**

**NB :** Une ferme type est une exploitation 'fictive' représentative d'un système de production dans un contexte pédoclimatique précis et caractérisée par une cohérence d'assolement, de rotation et d'itinéraires techniques définis par expertise



### Scénarios de simulations

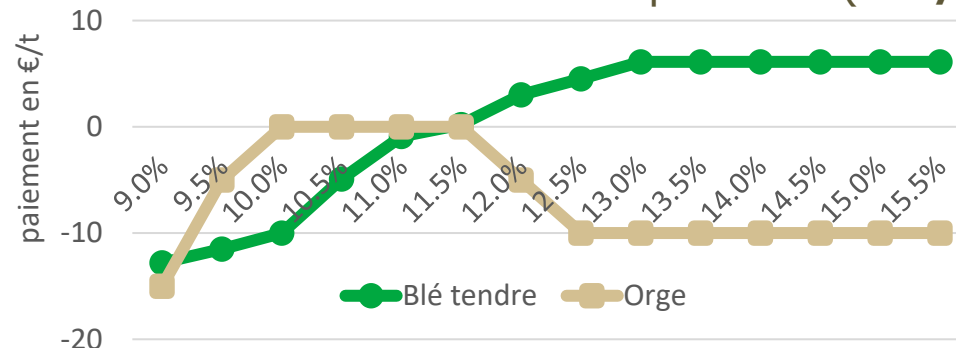
- Prix de vente des cultures (en €/t), prix d'achat de l'azote (€/kg N) et ratios

Prix d'achat de l'azote	Prix de vente des cultures		
	Moy. 2018-2021 Blé t. : 185 €/t Colza : 415 €/t	Prix 2022 Blé t. : 285 €/t Colza : 605 €/t	Prix 2023 Blé t. : 210 €/t Colza : 440 €/t
Moy. 2018-2021 Prix N = 0.78 €/kg	2.4 5.3 <b>1</b>	Non calculé	Non calculé
Prix élevé 1 Prix N = 2.0 €/kg	Non calculé	1.4 3.0 <b>2</b>	1.1 2.2 <b>4</b>
Prix élevé 2 Prix N = 2.5 €/kg	Non calculé	1.1 2.4 <b>3</b>	0.8 1.8 <b>5</b>

Sources : Observatoire prix Arvalis, Terre net, Ipampa

<b>1</b>	Contexte économique « favorable »
<b>2</b>	Contexte économique « +/- favorable »
<b>3</b> <b>4</b>	Contexte économique « +/- tendu »
<b>5</b>	Contexte économique « tendu »

- Grilles de rémunération de la protéine (**oui/non**)



Sources : Moyenne des grilles de quelques coopératives

- Grille de rémunération de la teneur en huile (**oui/non**)

$$\text{Grille} = 1.5\% * \text{Prix de vente} * (\text{taux d'huile} - \text{norme commerciale})$$

- Norme commerciale : Colza 40% et Tournesol 44%

#### Simulations en lien avec la rémunération de la qualité :

- Absence de rémunération de la qualité
- Rémunération de la teneur en protéine des céréales uniquement
- Rémunération de la teneur en protéine des céréales et teneur en huile des oléagineux

- Disponibilité de l'azote à l'échelle du système (kg N/ha)

Scénario 0	Scénario 1
154 (100%)	123 (80%)

# Résultats des simulations

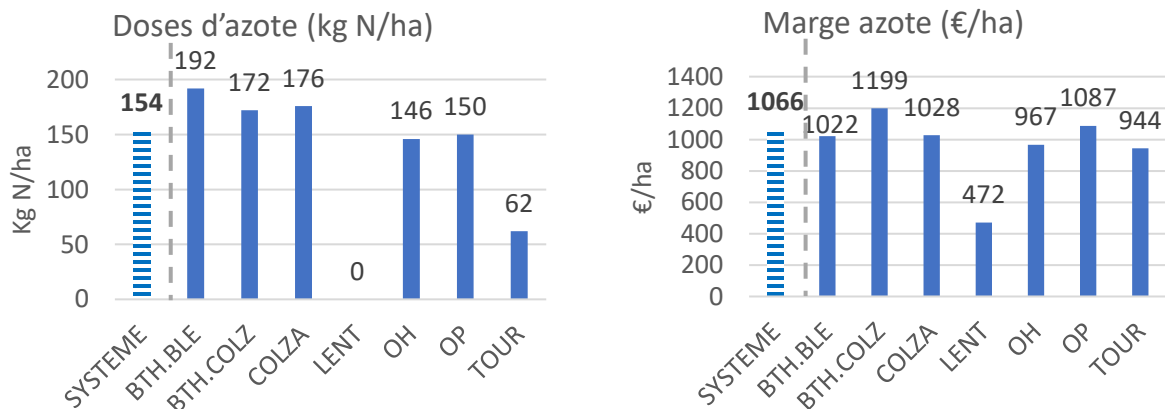


## Optimisation technico-économique à l'échelle du système

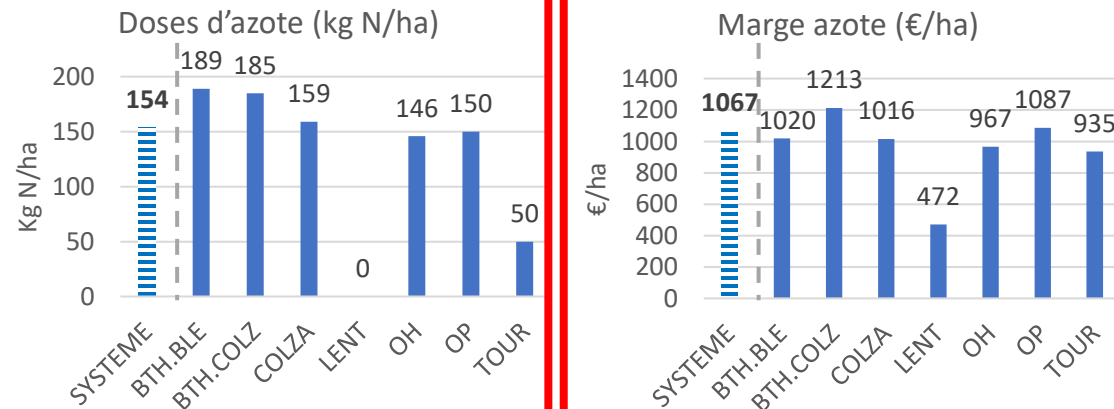


**Contexte économique favorable (2018-2021) : quantités d'azote et marges à l'OTE**  
**Disponibilité de l'azote : 100% (154 kg N/ha)**

### Optimum technique (1)



### Optimum technico-économique (2)



### Contexte économique favorable (2018-2021)

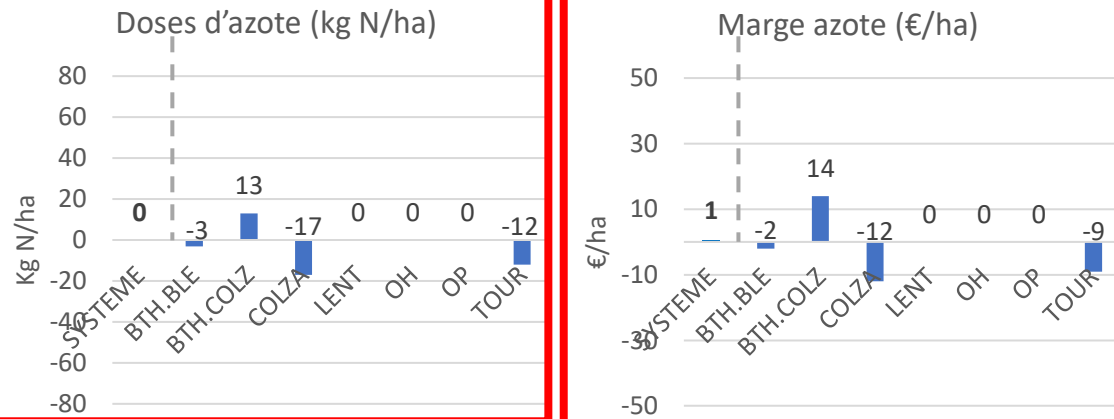
**Qualité : rémunération de la protéine uniquement**

Prix blé : 185 €/t ; Prix colza : 435 €/t

Prix azote : 0.78 €/kg N

Azote disponible : 154 kg N/ha

### Optimum technico-économique en écart (3) = (2) - (1)



### A l'optimum technico-économique (2) :

- Utilisation de la totalité de l'azote disponible avec une répartition entre cultures différente de celle observée à l'optimum technique
- Marge azote totale égale à celle de l'optimum technique



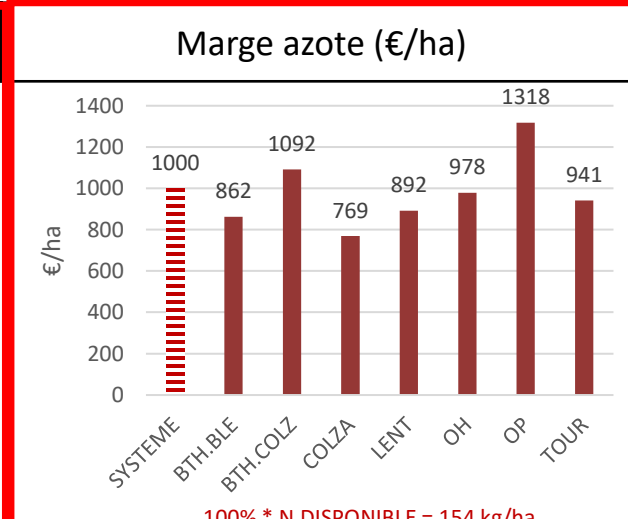
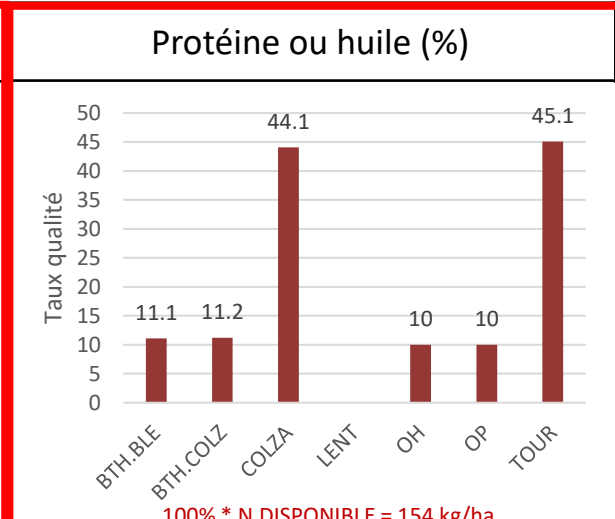
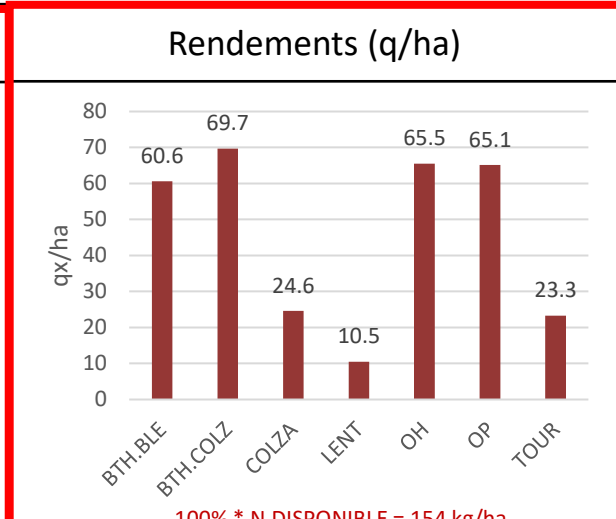
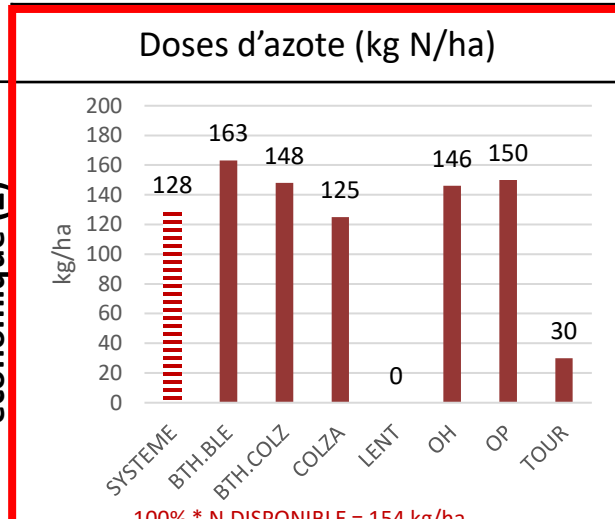
# Résultats des simulations



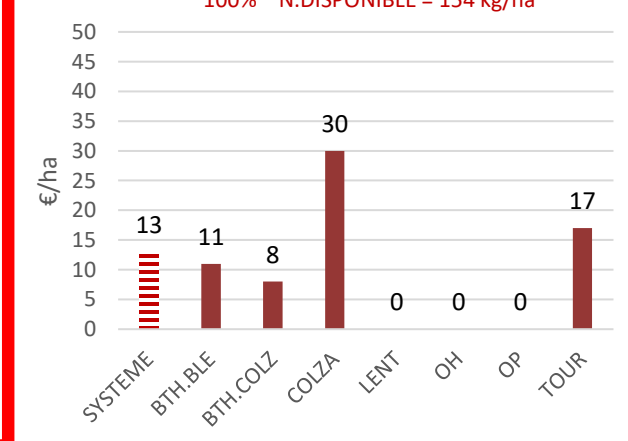
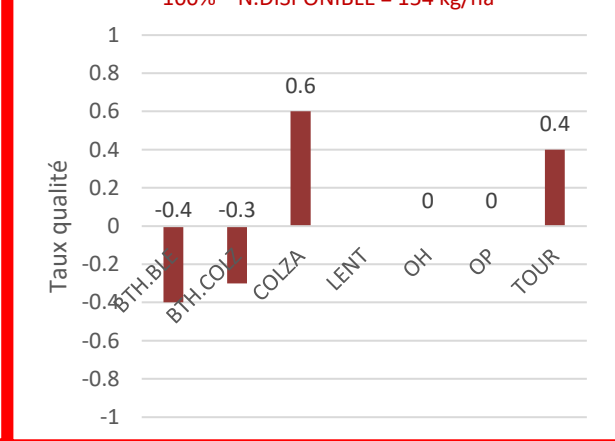
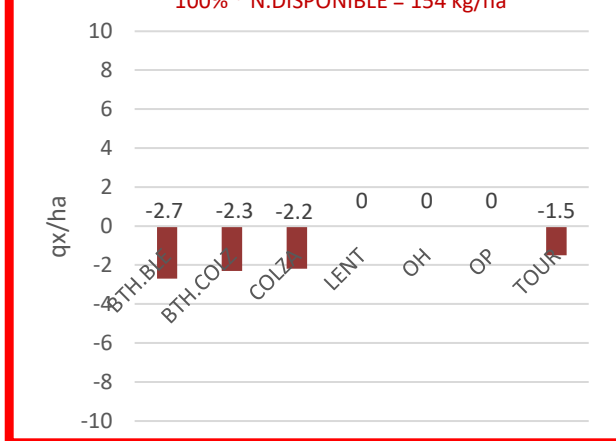
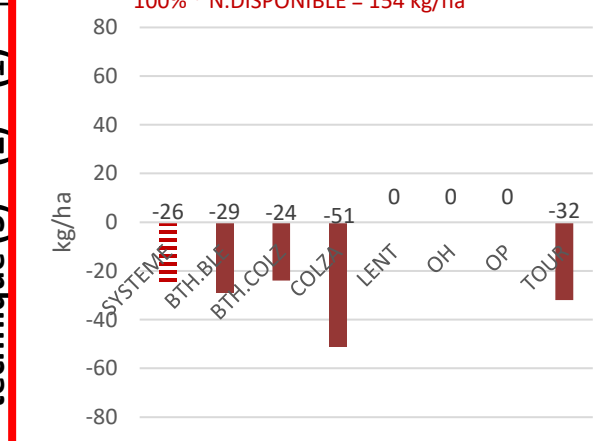
## Optimisation technico-économique à l'échelle des cultures

Contexte économique tendu (2023 - 2.5) : Blé 210 €/t ; Colza 440 €/t ; Azote 2.5 €/kg N  
N dispo = 154 kg N/ha (100%)

Optimum technico-économique (2)



Ecart à l'optimum technique (3) = (2) - (1)



OT : Optimum technique = Doses et rendements de la période 2018-2021 (doses d'azote x 100%)

OTE : Optimum technico-économique = Résultats de l'optimisation

# Résultats des simulations

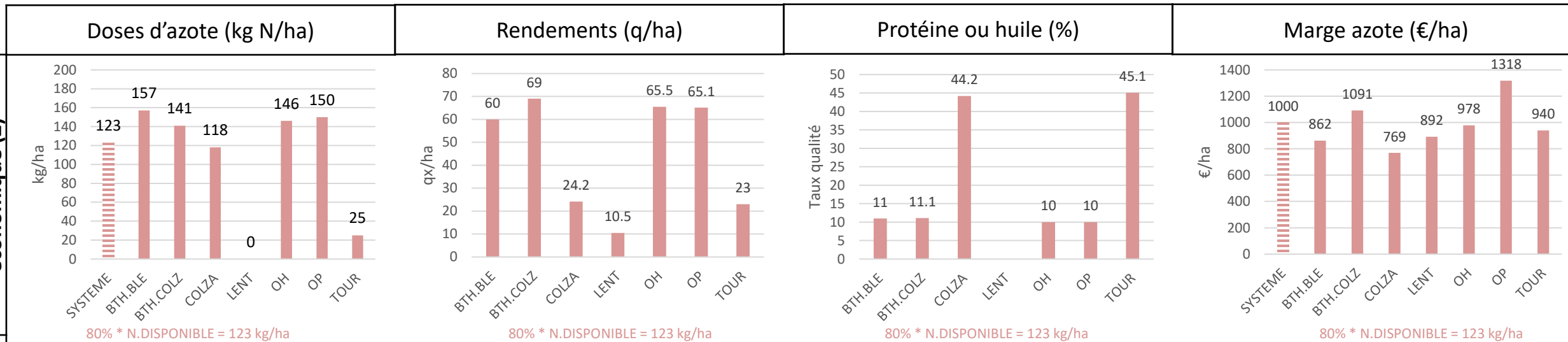
30 ans

## Optimisation technico-économique à l'échelle des cultures

Contexte économique tendu (2023 - 2.5) : Blé 210 €/t ; Colza 440 €/t ; Azote 2.5 €/kg N  
 N dispo = 123 kg N/ha (80%)

Optimum technico-économique (2)

Ecart à l'optimum technique (3) = (2) - (1)



- L'outil permet d'avoir la meilleure répartition de l'azote pour atteindre l'optimum technico-économique lorsque la quantité d'azote est limitée à 80%
- Les résultats de l'optimisation montrent qu'il est plus avantageux de viser l'optimum technico-économique que de réduire la dose d'azote de 20% de façon identique pour chaque culture (+10 €/ha)

OTE : Optimum technico-économique = Résultats de l'optimisation

# Conclusion, limites et perspectives

30 ans



comifer Gemas

## Conclusion

**Le modèle propose une optimisation de la répartition de l'azote disponible entre cultures ainsi que les conséquences sur les niveaux de rendement et de qualité selon le contexte économique en maximisant la marge « azote » totale**

**Sur l'exemple du système de Champagne Berrichonne étudié :**

- Dans le contexte économique favorable (2018-2021), les optimums techniques et technico-économiques sont confondus : égalité des marges « azote » → pas nécessaire de changer les pratiques
- Dans le contexte économique tendu (2023 - 2.5) pour 100% d'azote disponible, la recherche de l'optimum technico-économique permet un gain relatif de marge entre 10 et 15 €/ha (soit environ 1% de la marge azote du système), avec en contrepartie une baisse de l'azote d'environ 25 kg N/ha et une perte de rendement entre 1.5 et 3 q/ha selon les cultures
- En cas de moindre disponibilité de l'azote à l'échelle du système (80 %), le modèle propose une adaptation des doses par culture permettant une amélioration de la marge azote d'environ 10 €/ha par rapport à une baisse homogène de l'azote sur toutes les cultures

**Tester sur d'autres systèmes pour voir si les tendances sont les mêmes et les enjeux du même ordre**

# Conclusion, limites et perspectives

30 ans



comifer Gemas

## Limites

- Les courbes de réponse ne sont pas disponibles pour toutes les cultures
- Beaucoup d'hypothèses à définir pour faire tourner le modèle (prix de vente des cultures / d'achat de l'azote, choix des grilles de rémunération de la qualité, disponibilité de l'azote, ...)
- L'incertitude liée à la variabilité autour des courbes de réponse à l'azote n'est pas prise en compte
- Variabilité de l'optimum technique (rendements et doses d'azote)
- Le fractionnement des apports n'est pas pris en compte (fractionnement constant)

## Perspectives

- Travaux d'amélioration de la prédiction des pentes des courbes de réponse du rendement à partir de variables agropédoclimatiques
- Prise en compte de la variabilité des courbes de réponse dans la recherche de l'optimum technico-économique
- Optimisation d'assolement : modification d'assolement pour s'adapter en contexte économique tendu



30 ans

# 16<sup>e</sup> Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

21, 22 et 23 novembre 2023

Palais des congrès de Tours