

Mise en évidence de fonctionnements contrastés pour la gestion de l'azote

dans une descendance de 80 génotypes de *Miscanthus sinensis*

Perspectives pour les services écosystémiques rendus par la plante

Shehyar Iqbal, Marion Zapater et Maryse Brancourt-Hulmel

INRAE Estrées-Mons - Unité mixte de recherche transfrontalière BioEcoAgro

Double défi pour l'agriculture : maintenir la capacité de production tout en limitant les impacts environnementaux

Systèmes à faibles intrants
(agriculture biologique)

Zhang and Hiscock 2011, Beaudoin et al., 2021

cultures peu exigeantes en azote
(tournesol, miscanthus)

Projet MisEauVert



Miscanthus sinensis

Production
de biomasse

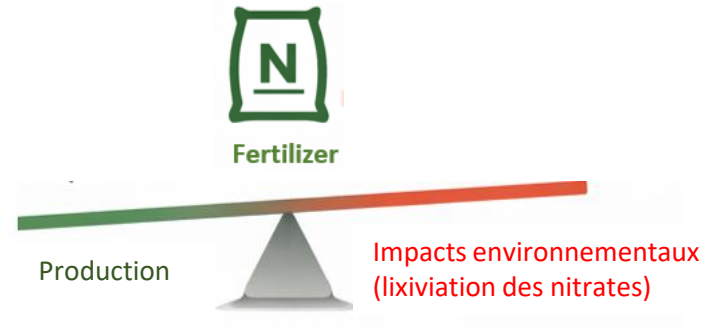
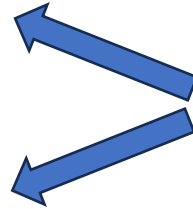
Arnoult & Brancourt-Hulmel, 2014

Fourniture de
services
écosystémiques

Nsanganwimana et al., 2015

Diversité génétique
importante

Mitros et al., 2020



- Comment cette diversité se traduit elle en variabilité de fonctionnement au niveau de la gestion de l'azote ?
- Peut on identifier des types de fonctionnement intéressants pour fournir des services écosystémiques ?

Résultats issus de la thèse de Shehyar IQBAL (2022-2026)



THESE DE DOCTORAT

pour obtenir le grade de

DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LILLE

en

Sciences agronomiques

ED SMRE 104

Ecole doctorale Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement

par

Shehyar IQBAL

Titre de la thèse :

Nitrogen economy towards ecosystem services: plant key traits and QTL detection in *Miscanthus sinensis*

Gestion de l'azote en vue de services écosystémiques : traits majeurs de la plante et détection de QTL chez *Miscanthus sinensis*

Thèse présentée et soutenue à Estrées-Mons, le 10 mars 2026

Composition du jury :

Anne LAPERCHE, Professeure, Agro Rennes-Angers Institute
Emily HEATON, Professeure, University of Illinois (US)
Jacques LE GOUIS, Directeur de Recherche, INRAE, Clermont-Ferrand
Loïc STRULLU, Ingénieur de Recherche, INRAE, Laon
Komlan AVIA, Chargé de Recherche, INRAE, Colmar
Emilie SKOWRON, Ingénieure, Novabiom, Champhol

Présidente
Rapporteuse
Rapporteur
Examineur
Examineur
Personne invitée

Maryse BRANCOURT-HULMEL, Directrice de Recherche, INRAE, Estrées-Mons
Marion ZAPATER, Ingénieure de Recherche, INRAE, Estrées-Mons

Directrice de thèse
Co-encadrante



BioEcoAgro Joint Research Unit, INRAE
2 Chaussée Brunehaut 80200 Estrées-Mons FRANCE



GCB Bioenergy

WILEY



RESEARCH ARTICLE OPEN ACCESS

Nitrogen Economy Strategies Define Distinct Functional Groups of Genotypes in a *Miscanthus sinensis* Progeny

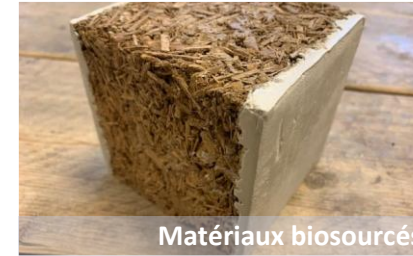
Shehyar Iqbal | Maryse Brancourt-Hulmel | Marion Zapater

Culture du miscanthus : combiner production de biomasse et services écosystémiques

Service Production

- Espèce pérenne avec rhizome (Poaceae); pseudo-annuelle (récoltée annuellement)
- Rendement **~10-20 t matière sèche ha⁻¹ an⁻¹** (Clifton-brown et al., 2000; Heaton et al., 2004)
- Hauteur **~3-4 m** (Sekutowski et al., 2025)
- Superficie plantée en France : ~11 500 ha in 2024 (France Miscanthus, 2024)
Avec doublement de cette surface depuis 2017 (France Miscanthus, 2024)

Débouchés



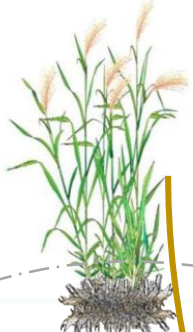
Service Régulation

- Faibles besoins en fertilisant (Cadoux et al., 2012),
 - recyclage de l'azote (Strullu, 2011, Leroy et al., 2021)
- Risque de lixiviation des nitrates réduits
- Système racinaire profond → Réduction de la lixiviation des nitrates après 1 an de culture (Ferchaud & Mary, 2016)
- Pas de pesticides (Caslin et al., 2010)



Cycle saisonnier de l'azote chez le miscanthus

Eté



Automne

Perte d'azote au sein de la plante

Absorption d'azote
(du sol vers la plante)



Gestion de l'azote par les plantes: comprend l'absorption de l'azote et le recyclage de l'azote (Leroy et al., 2022)
Processus importants pour soutenir la production de biomasse tout en limitant les impacts environnementaux

plantes

Remobilisation printanière
(du rhizome vers les parties
aériennes)

Récolte



Hiver



Printemps

Etudié principalement chez *M. x giganteus*
Quelle diversité chez *M. sinensis* ?

Comment caractériser la variabilité de la gestion de l'azote chez *Miscanthus sinensis* ?

Etude d'une population issue d'un croisement entre deux *M. sinensis*

- Croisement contrôlé de deux *Miscanthus sinensis* diploïdes : Malepartus (MAL) × Herman Mussel (HER)
 - Implantée à Estrées-Mons : climat océanique tempéré, sol limoneux profond (mais faible azote minéral car non fertilisé depuis 5 ans), essai carencé en azote
 - 80 génotypes étudiés
 - Age de la culture au moment de l'étude – 5 ans
 - Essai non fertilisé, irrigué, densité : 1 plante.m⁻²
-
- Variables mesurées : flux d'azote dans les plantes, suivi de la croissance et du développement des plantes, rendement annuel
 - Rendement annuel: Février 2021, 2022, 2023, 2024 - 4 blocs incomplets
 - Variables liées à la gestion de l'azote : année 2024
 - 4 campagnes de mesure – Mesures destructives : ~ un bloc mesuré (détruit) à chaque campagne de mesure
 - 65 génotypes avec une seule répétition par campagne de mesure
 - 15 génotypes avec 2 répétitions par campagne de mesure
 - Développement de la plante (mesure de hauteur et du nombre de tiges à des dates clefs sur l'année 2024)

Phénotypage des variables étudiées en 2024



Emergence



**Stade 3 feuilles
ligulées**



**Nb de tiges et
hauteur (Juin)**



**Notation
d'épiaison**



**Notation de
senescence**



**Collecte de feuilles
dans des filets**



**Campagne 1:
Date 0**

**Parties aériennes
Parties souterraines**

Circonférence à 50cm
Nombre de tiges (lab)



**Campagne 2
Date 1**

**Parties aériennes
Parties souterraines**

Hauteurs
Nombre de tiges (lab)

**Campagne 3
Date 2**

**Parties aériennes
Parties souterraines**

Hauteurs
Nombre de tiges (champ)



**Campagne 4
Date 3**

**Parties aériennes
Parties souterraines**

Circonférence à 50cm
Nombre de tiges (lab)

Comment étudier le recyclage de l'azote ?

➤ **N = Quantité d'azote = concentration en azote * Biomasse sèche**

Remobilisation automnale : exportation de l'azote
des parties aériennes

Méthode aérienne (ARa) :

$$ARa = \text{NAP date2} - \text{NAP date3}$$

Remobilisation automnale : azote
importé depuis les parties
aériennes dans les rhizomes

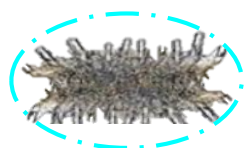
Méthode souterraine (ARb) :

$$ARb = \text{NBP date3} - \text{NBP date2}$$



Remobilisation printanière (SR) :

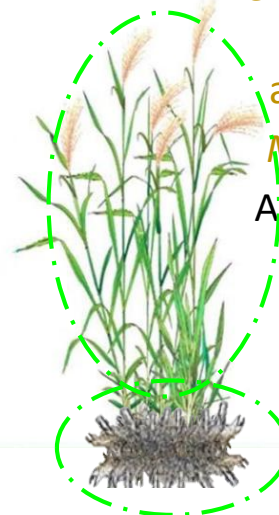
$$SR = \text{NBP date0} - \text{NBP date1}$$



Date 0
Dormance



Date 1
Quantité d'N
minimale dans les
parties
souterraines



Date 2
Quantité d'N plante totale
maximum



Date 3
Dormance,
Fin de cycle
saisonnier

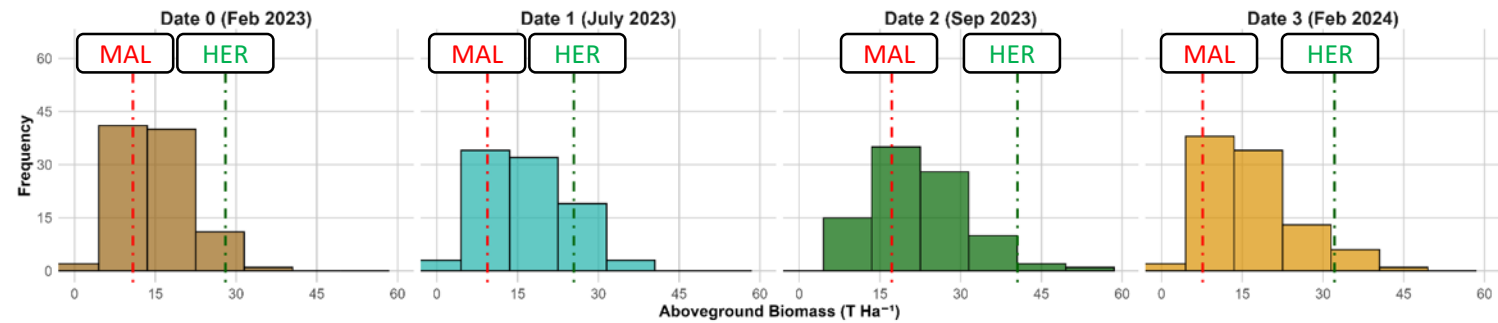


2023

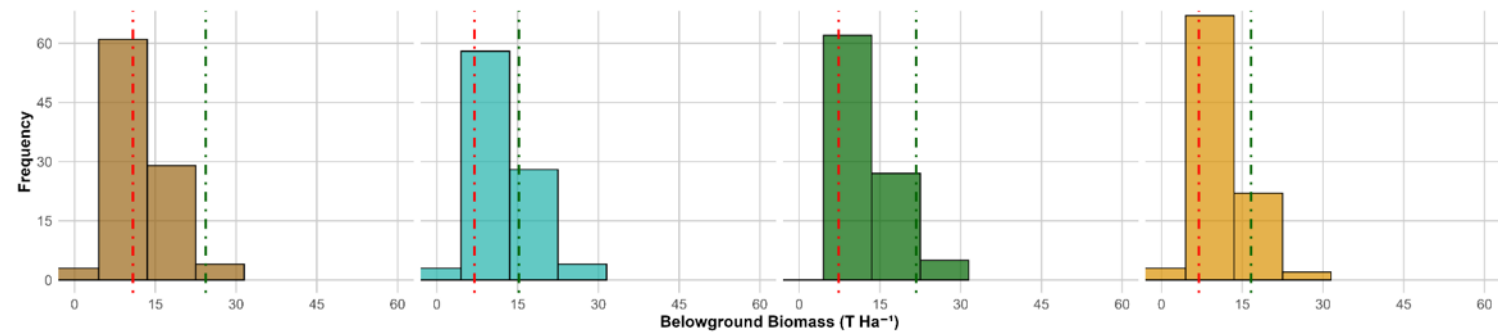
2024

Quelle est la variabilité observée au sein de notre population de *Miscanthus sinensis* ? -> sur la production de biomasse

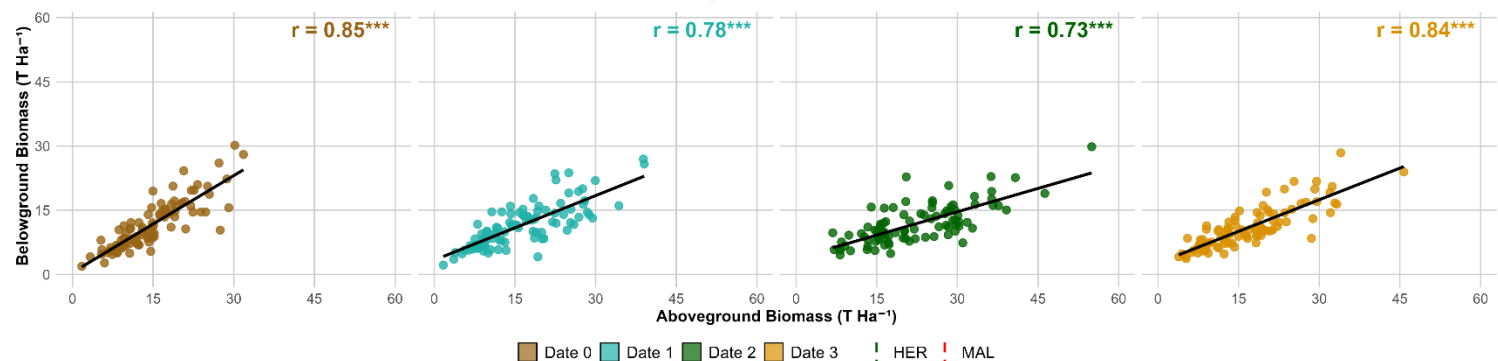
Production de biomasse aérienne



Production de biomasse souterraine

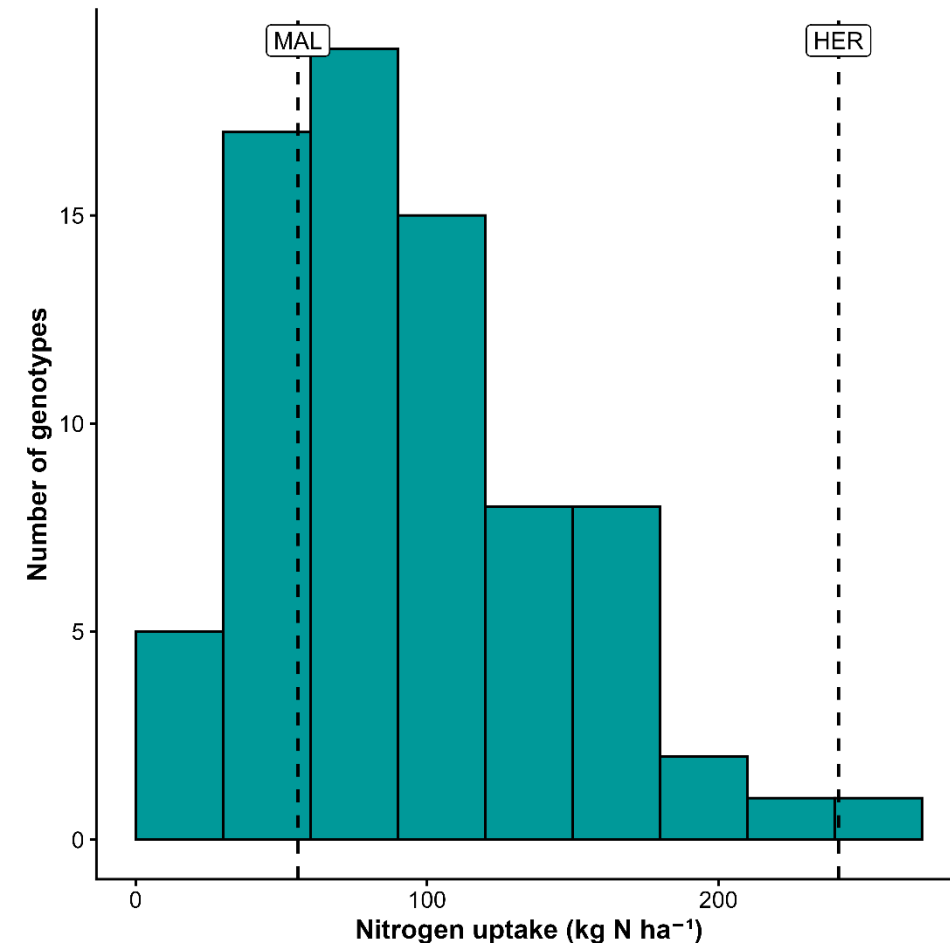
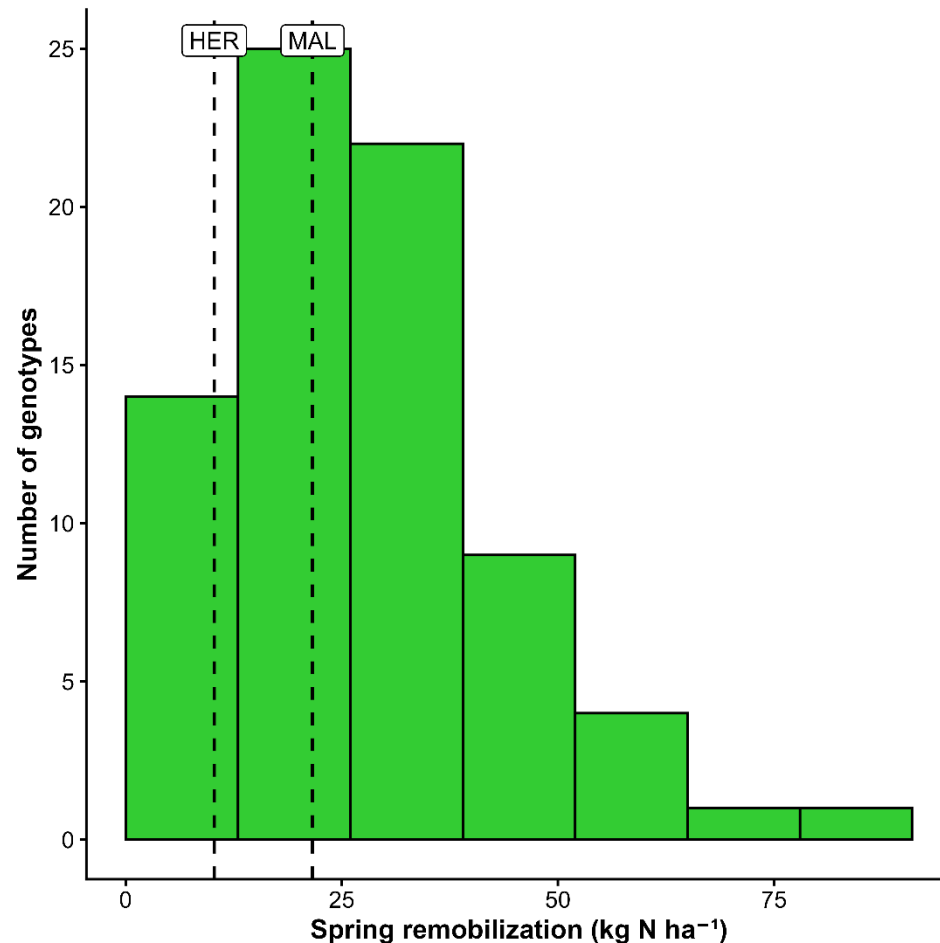


Corrélation



- Grande variabilité pour les productions de biomasse aérienne et souterraine, à toutes les dates
- Forte corrélation entre les deux types de production de biomasse (0.85)

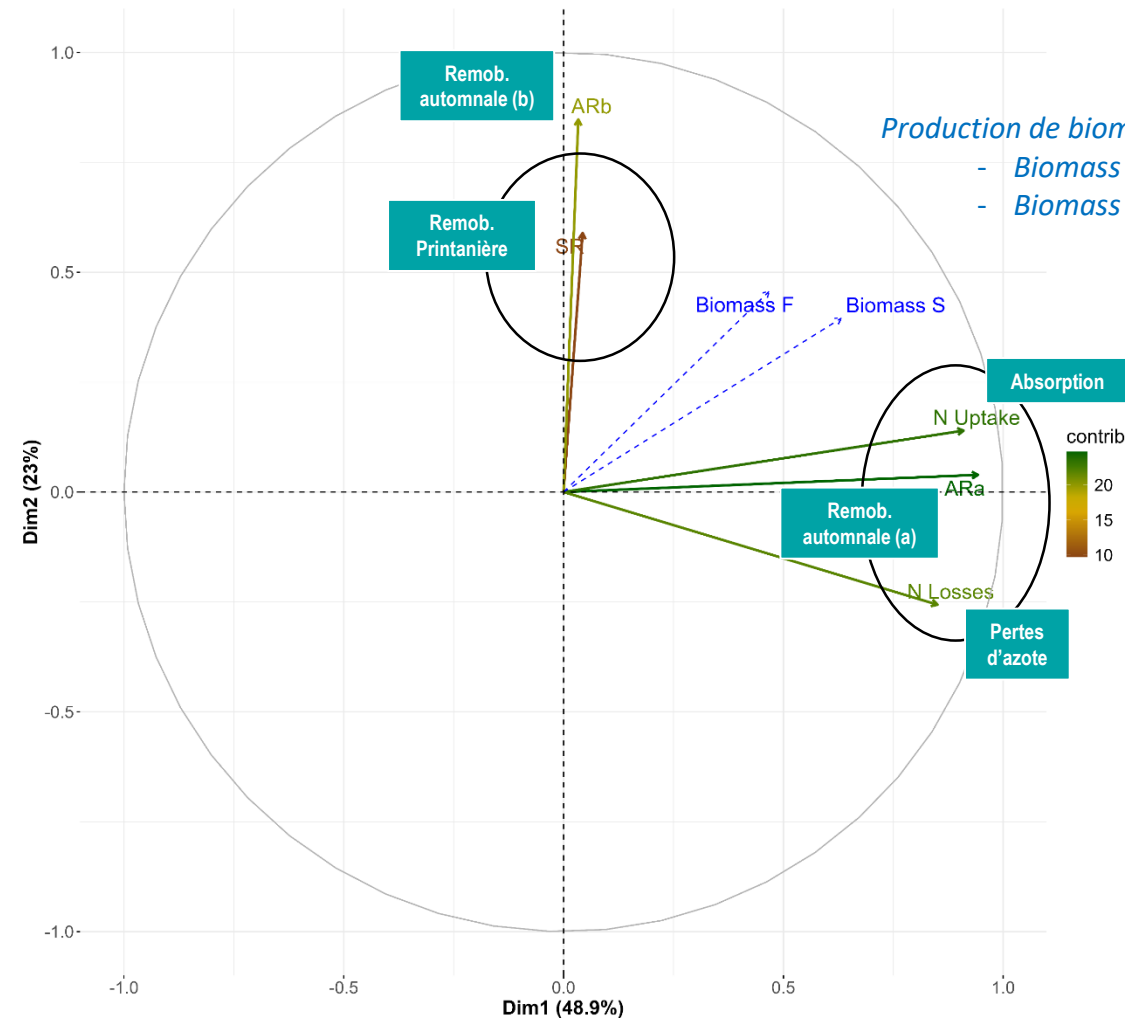
Quelle est la variabilité observée au sein de notre population de *Miscanthus sinensis* ? -> sur les flux d'azote



- Forte variabilité sur les flux de remobilisation printanière et sur l'absorption de l'azote
- Forte variabilité observée sur les différentes variables liées à la gestion de l'azote (*figures non présentées*)
- Cette variabilité reflète une diversité de fonctionnement sur la gestion de l'azote

Les variables étudiées pour la gestion de l'azote s'organisent en deux groupes

PC 2 (23%) : Stockage et remobilisation de l'azote
dans les parties souterraines



Production de biomasse = variable quantitative supplémentaire

- Biomass F mesurée en février
- Biomass S mesurée en septembre

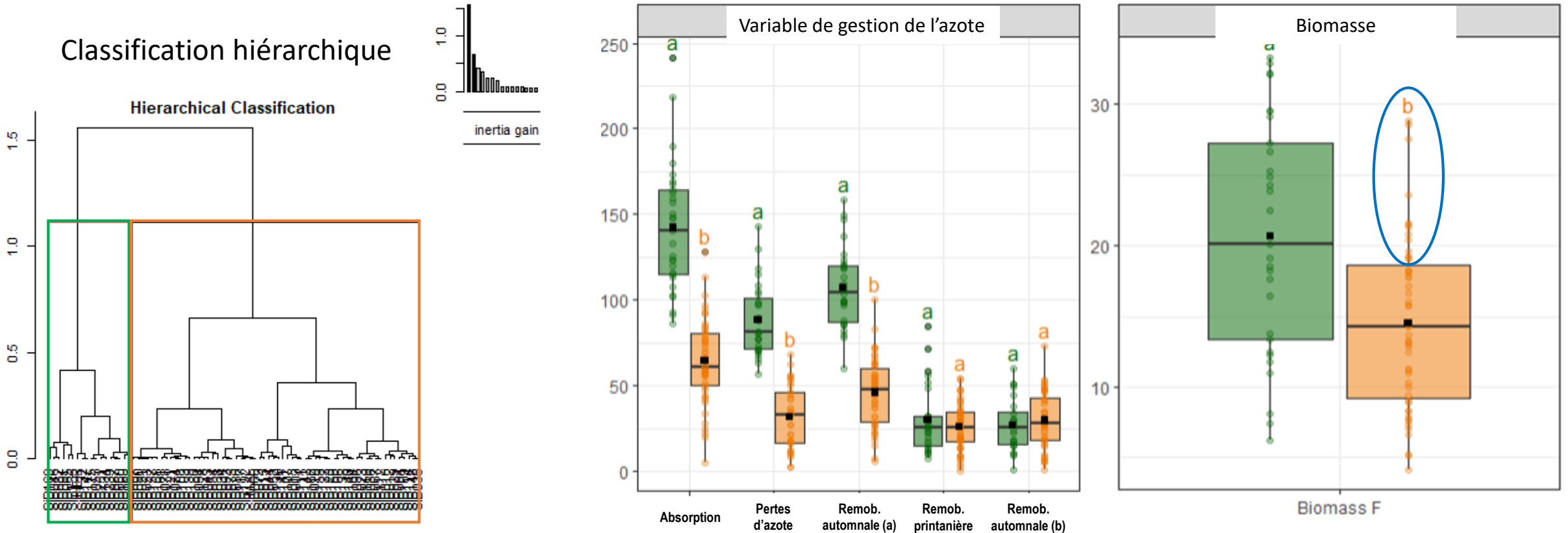
Analyse en composantes principales des caractères de gestion de l'azote par la plante.

Projection des deux premières composantes (PC 1 et PC 2).

PC 1 (48.9%) : Acquisition de l'azote du sol et exportation de l'azote des parties aériennes

Regroupement des individus de notre population selon leur gestion de l'azote

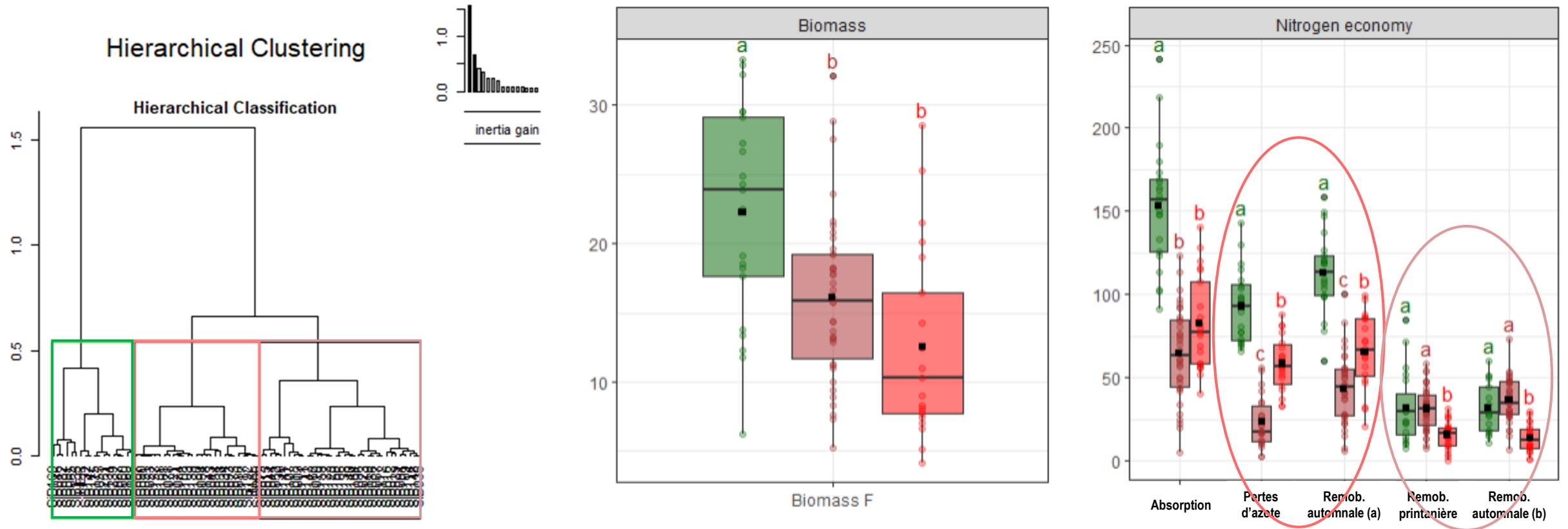
Première étape : une classification hiérarchique sur les composantes de l'ACP sépare la population en deux groupes



- **Cluster vert : absorption**, azote exporté des parties aériennes (Remob. automnale (a)), et pertes d'azote plus importants
- **Cluster vert** : regroupe des individus avec des **biomasses importantes**
 - ✓ Sources d'N = **absorption + azote remobilisé**
 - ✓ *Pourrait refléter une stratégie favorisant une absorption importante de l'azote*
- **Cluster orange**: Certains individus produisent également beaucoup de biomasse

Regroupement des individus de notre population selon leur gestion de l'azote

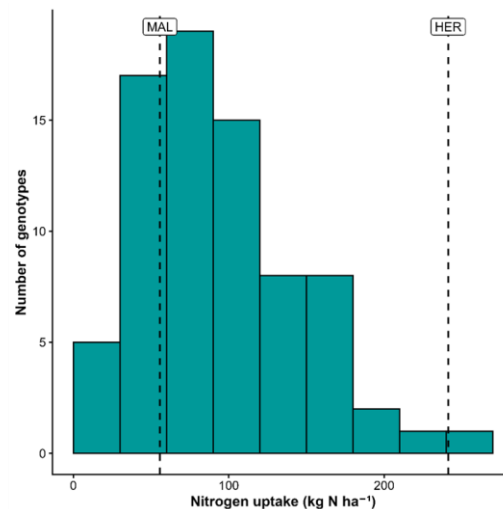
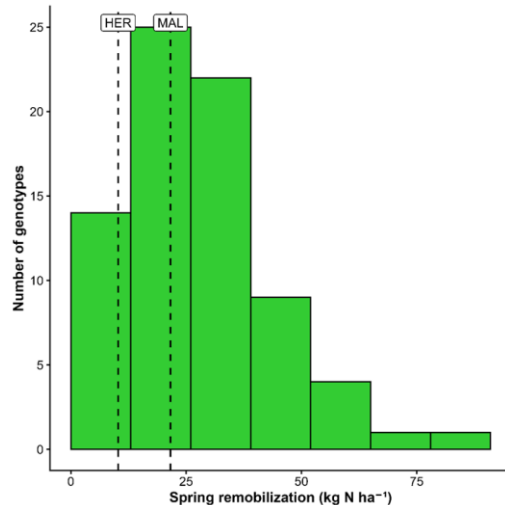
Deuxième étape: affiner les caractéristiques liées à la production de biomasse et à la gestion de l'azote dans le second cluster



- Il y a des individus qui produisent beaucoup de biomasse dans les deux sub-clusters
- **Cluster rouge** : comportement intermédiaire entre les **verts** et les **marrons**, pour l'exportation de l'N des parties aériennes (Remob. automnale (a)) et les pertes d'azote
- **Cluster marron** : regroupe des individus avec une plus forte capacité à stocker l'azote qui provient de l'aérien (Remob. automnale (b)) et une plus forte remobilisation printanière en comparaison du **cluster rouge**.
- **Cluster marron** : les sources d'azote reposent sur l'azote récupéré des parties aériennes (Remob. printanière) (**comme le vert**), et sur l'absorption d'azote, bien que l'importance de l'absorption soit moindre comparée **au vert** (également moins d'exportations d'azote à l'automne et de pertes que le **vert**).
✓ *Pourrait refléter une stratégie plus conservatrice de l'azote*



80 génotypes issus d'une descendance de *Miscanthus sinensis* ont été étudiés afin de caractériser leur gestion de l'azote sous contrainte azotée



Il existe une large variabilité de la gestion de l'azote entre génotypes dans notre étude

Plusieurs stratégies de gestion de l'azote peuvent conduire au maintien de la production de biomasse

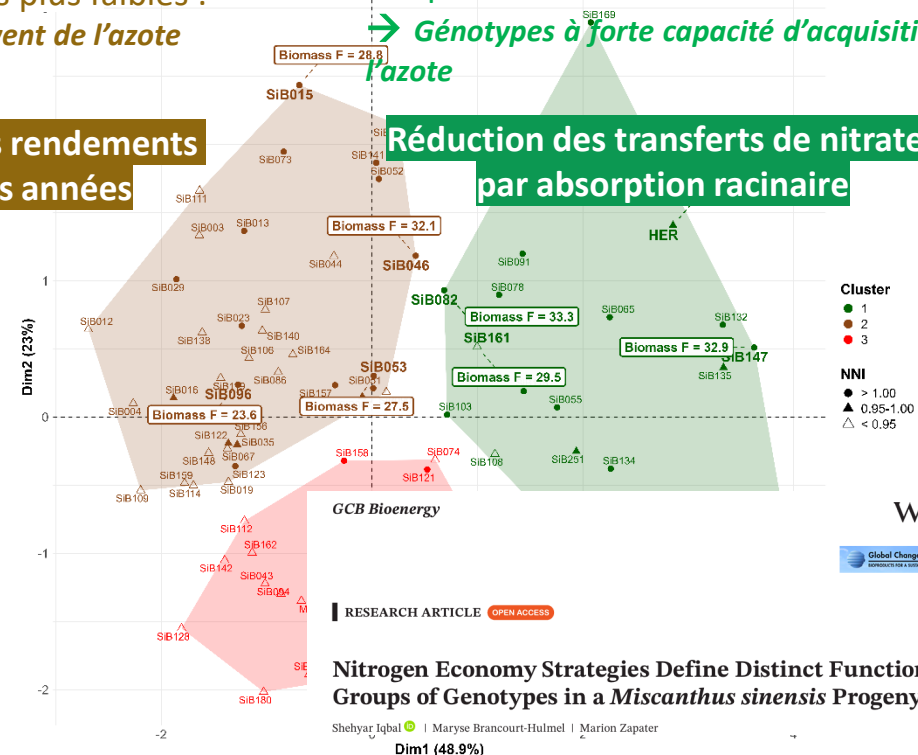
Certains génotypes sont fortement productifs, avec un recyclage efficace de l'azote et des pertes plus faibles :
→ *génotypes qui conservent de l'azote*

La majorité des génotypes sont fortement productifs et se caractérisent par une forte acquisition de l'azote, associée à un recyclage efficace mais à des pertes élevées

→ *Génotypes à forte capacité d'acquisition de l'azote*

Sécurisation des rendements sur plusieurs années

Réduction des transferts de nitrates par absorption racinaire



L'ACP et la classification hiérarchique sur les principales composantes montrent des génotypes contrastés pour leur gestion de l'azote

Perspectives de travail

Validation écophysiological

- Augmenter le nombre de répétitions par génotype
- Tester la stabilité des résultats et leur dépendance aux conditions environnementales
 - essais conduits sur plusieurs années et plusieurs sites
 - différents niveaux de disponibilité en azote et en eau

Facilitation du phénotypage

- Identifier des proxys (variables indirectes) pour simplifier les mesures des variables de gestion de l'azote

Cf exposé 6 :

Prédiction des caractères de gestion de l'azote par des variables plus faciles à mesurer

Etude génétique

- Recherche de régions génomiques impliquées dans la gestion de l'azote
- Puis de gènes candidats

Application en sélection

- Développement d'idéotypes stériles alliant production, composition de biomasse adaptée aux débouchés, gestion de l'azote adaptée au contexte

Acknowledgements & Thank you

Team miscanthus

Maryse Brancourt-Hulmel

Marion Zapater

Séverine Monnot

Kristelle Lourgant

Julie Warlop

Antoine André

Manuel Derrien

Hélène Sellier-Richard

Benoit Decaux

Clotilde Delval

Administrative team

Nicolas Housset

Kevin Jaminon

Odile Jaminon

Christine Coffigne

Aline Waquet

Amélie Froidure

Ismérie Prudhommeaux

Pour en savoir plus :

- Site internet : <https://mistigation.hub.inrae.fr>

Team INRAE

Isabelle Lejeune

Adrien Sonnet

Maëlys Cazier

Frédéric Mahu

Nicolas Collanges

Guillaume Vitte

Bryan Hennocq

Joël Leonard

Frida Keuper

Anita Teixeira

Caroline Dominiarczyk

Reviewers & Jury

Emily Heaton

Jacques Le Gouis

Anne Laperche

Loïc Strullu

Komlan Avia

Emily Skowron

Committee members

Véronique Jorge

Manoël Couprie

Matthieu Reymond

Frédéric Dubois

Julie Leroy

Experimental Unit

Marie Heumez-Lévêque

Odile Bore

Stéphanie Arnoult

Stéphanie Lavette

Valentin

Ludivine Pirus

Maxime Devaux



Merci pour votre attention !

Pour en savoir plus :

- Site internet : <https://mistigation.hub.inrae.fr>