

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

Travail issu de la thèse de Shehyar IQBAL (mars 2026)

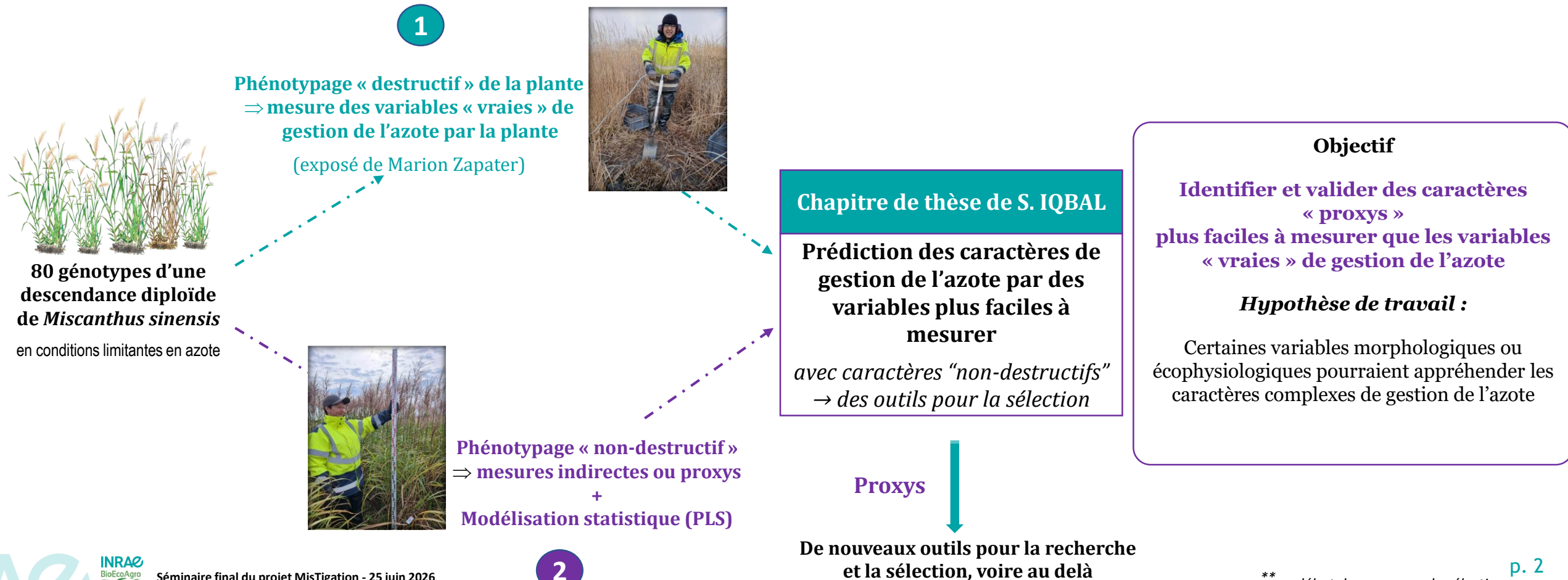
Shehyar Iqbal, Marion Zapater, Séverine Monnot et Maryse Brancourt-Hulmel

INRAE Estrées-Mons - Unité mixte de recherche transfrontalière BioEcoAgro

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

Constat : les caractères de gestion de l'azote présentés par Marion sont difficiles à mesurer et nécessitent de détruire les plantes
C'est un réel problème pour le sélectionneur qui manipule par définition des individus en exemplaire unique** au niveau génétique

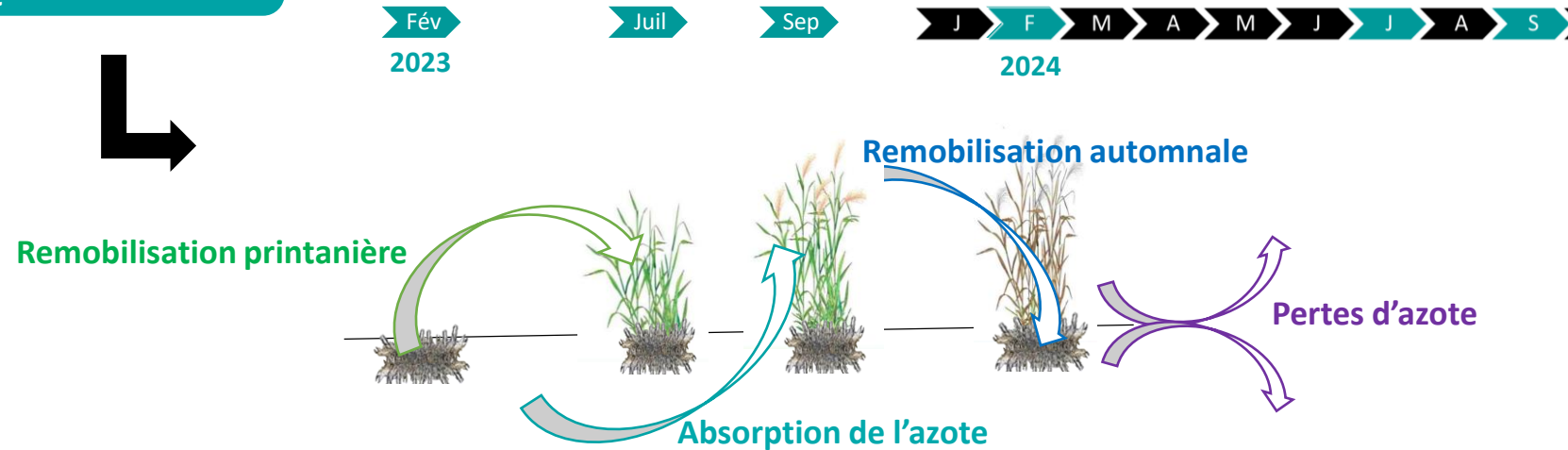
destruction des génotypes $\Rightarrow$ mort des individus à sélectionner $\Rightarrow$ PLUS DE SELECTION POSSIBLE !



Mesure des caractères de gestion de l'azote par la plante

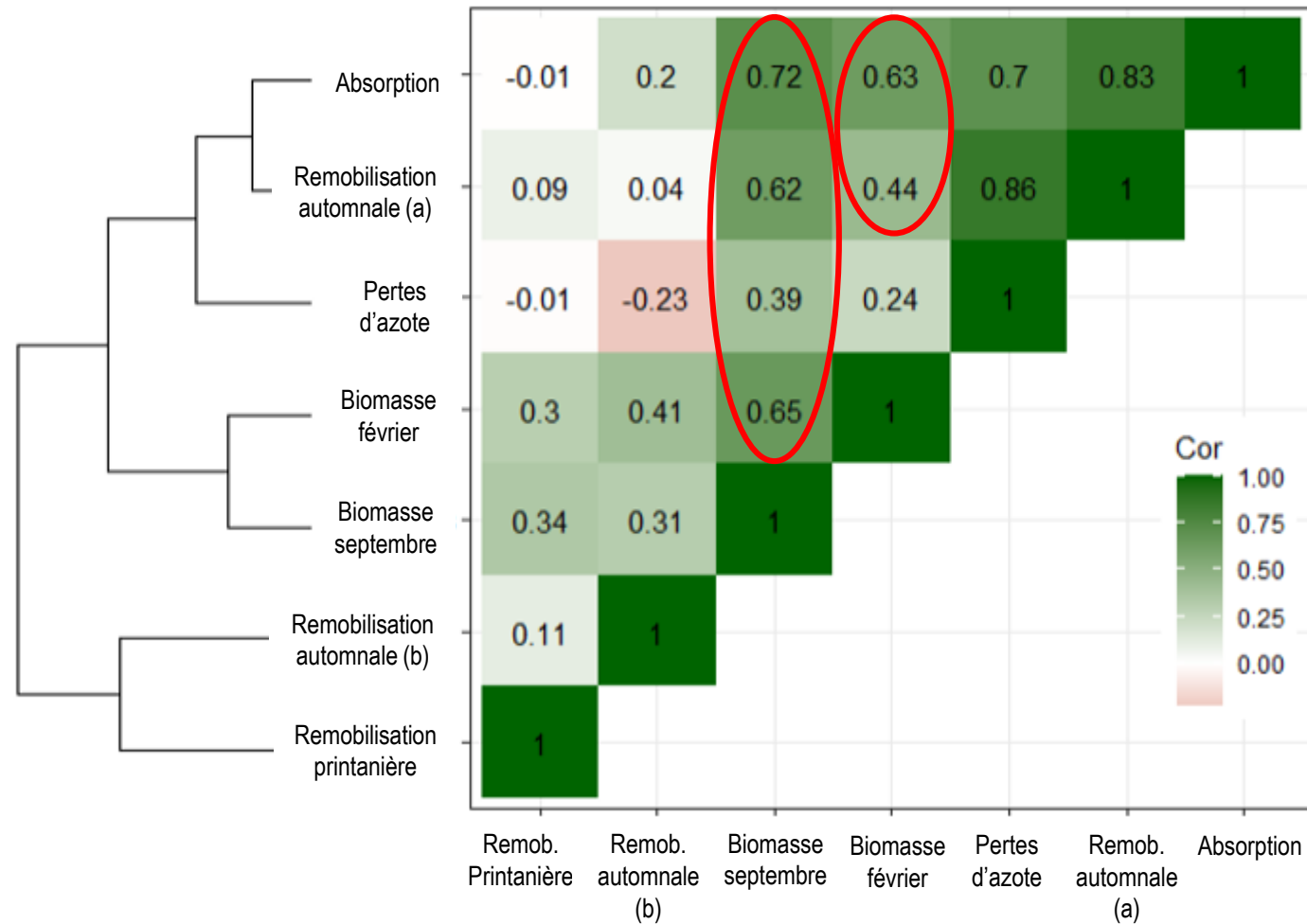


80 génotypes d'une descendance diploïde de *Miscanthus sinensis* testés pour des caractères de gestion de l'azote dans des conditions limitantes en azote



Quatre dates de prélèvement du cycle de la plante pour caractériser l'absorption de l'azote, le recyclage (remobilisations printanière et automnale) et les pertes d'azote

Corrélation de chaque caractère de gestion de l'azote avec la production de biomasse



- La production de biomasse est favorisée par l'absorption de l'azote et son recyclage au sein de la plante
⇒ La maximisation de la production de biomasse nécessite donc de s'intéresser à ces deux aspects

Phénotypage non destructif : les caractères indirects ou proxys mesurés

Taille et architecture

Structure de la canopée

Stades phénologiques et
dynamique de croissance

Statut azoté (INN)

Concentration en azote de différents organes /
compartiments de la plante

Quantités d'azote de différents organes /
compartiments de la plante



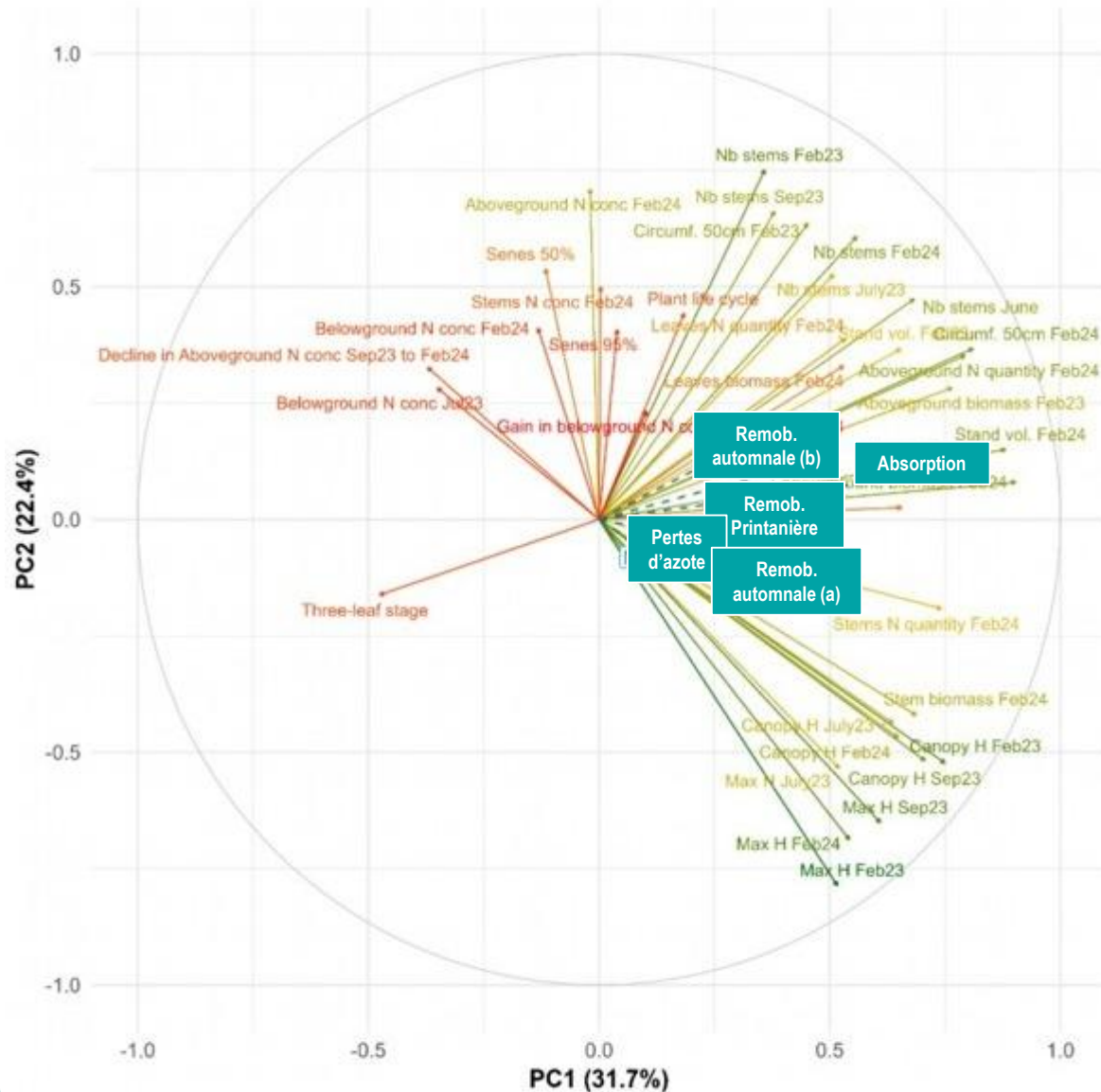
En parallèle des 5 caractères de gestion de l'azote nécessitant la destruction de la plante pour accéder au rhizome et mesurer les flux d'azote au sein de la plante, 35 caractères « non destructifs » ont été mesurés pour chacun des 80 génotypes

Certains proxys peuvent individuellement prédire les caractères de gestion de l'azote

Caractère de gestion de l'azote	$ r2 \leq 0.25$	$0.25 < r2 \leq 0.50$	$0.50 < r2 \leq 0.75$	Meilleur proxy (ou variable indirecte)
Remobilisation printanière	23	12	0	Biomasse aérienne - février 2023 (0.47)
Remobilisation automnale (a)	17	18	0	Indice de nutrition azotée INN (0.46)
Remobilisation automnale (b)	19	16	0	Volume aérien de la plante - février 2024 (0.48)
Absorption	11	17	7	Biomasse aérienne - février 2024 (0.63)
Pertes d'azote	31	4	0	Indice de nutrition azotée INN (0.35)

- 57% des corrélations sont faibles : $|r2| \leq 0.25$
- 38% sont faibles à modérées : $0.25 < |r2| \leq 0.50$
- 4 % sont plutôt fortes : $0.50 < |r2| \leq 0.75$

Ces corrélations individuelles sont redondantes selon une analyse en composantes principales



- L'analyse en composantes principales (ACP) regroupant tous les proxys montre de nombreuses colinéarités entre proxys
- Les 5 caractères de gestion de l'azote, placés vers le centre du cercle, sont plus ou moins bien expliqués par cet ensemble

⇒ Est-ce qu'il serait plus pertinent de prédire chacun des caractères de gestion de l'azote par une combinaison plus resserrée de ces caractères proxys ?

Taille et architecture

Structure de la canopée

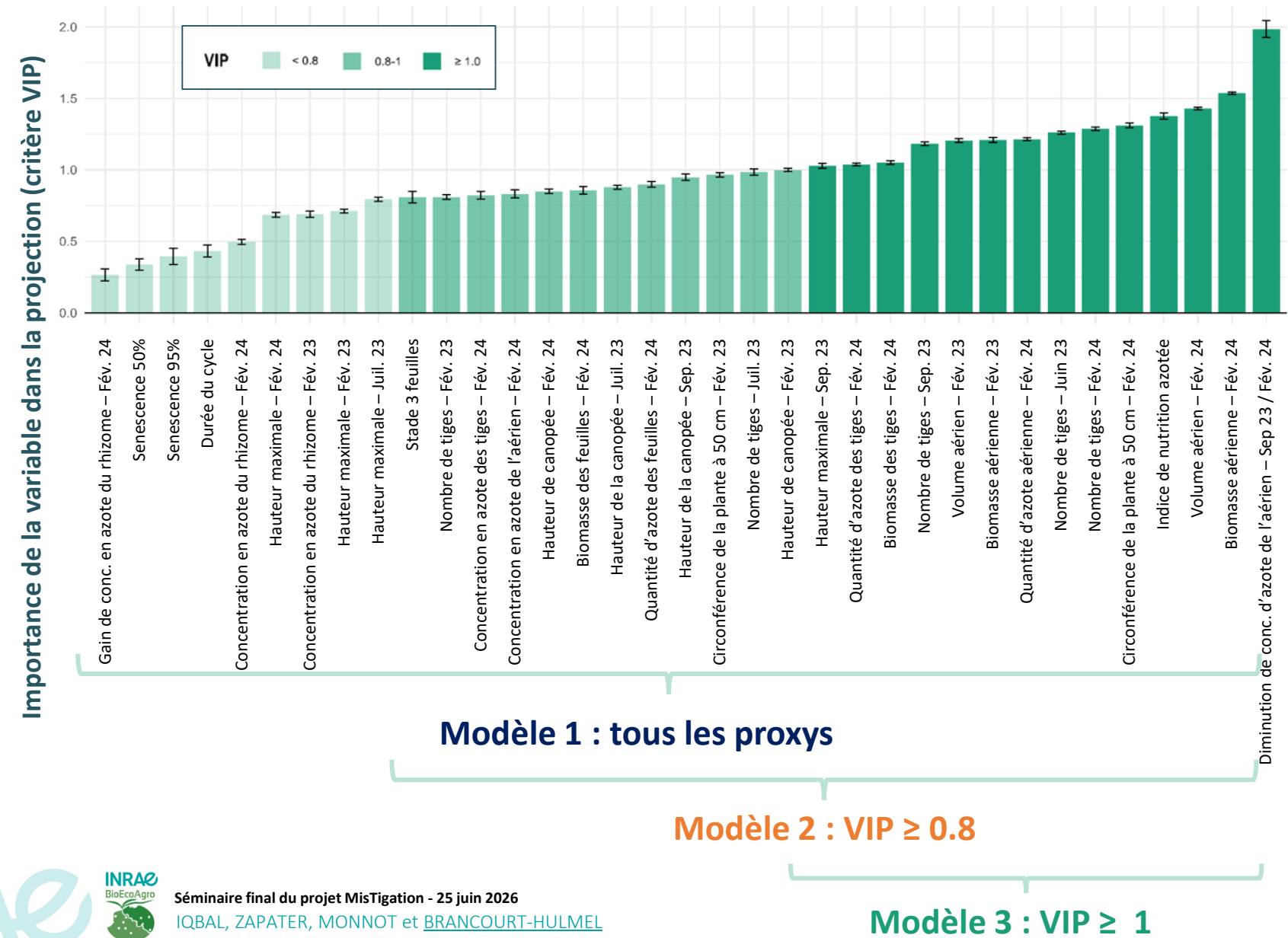
Stades phénologiques et
dynamique de croissance

Statut azoté (INN)

Concentration en azote de différents organes /
compartiments de la plante

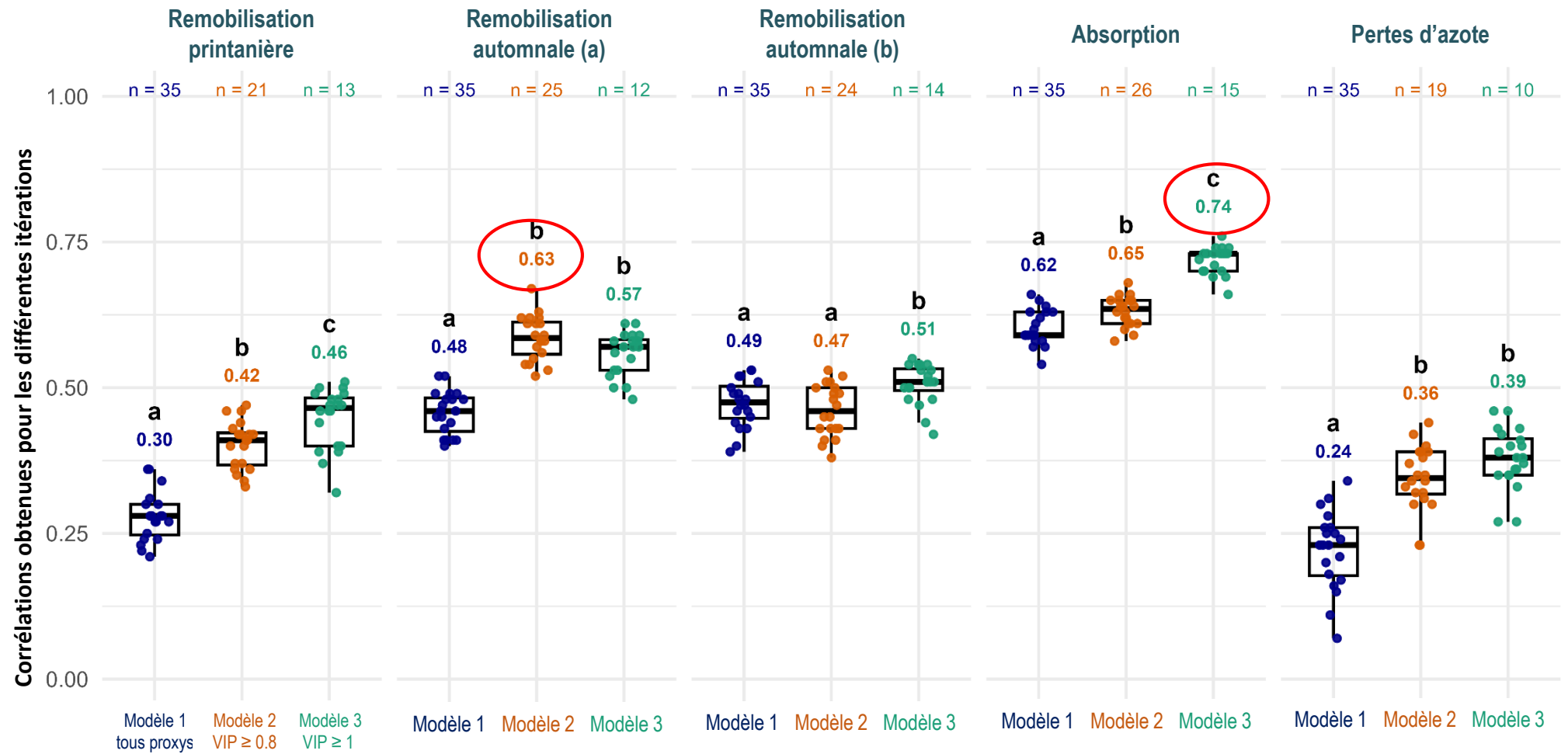
Quantités d'azote de différents organes /
compartiments de la plante

Sélection d'une combinaison plus resserrée de ces caractères proxys par modélisation statistique PLS



- La régression des moindres carrés partiels (PLS) est une régression permettant de gérer les problèmes de multi-colinéarité
 - Un critère statistique permet de définir l'importance de la variable dans la projection (critère VIP)
- ⇒ **Sélection des variables selon 3 niveaux de VIP ⇒ 3 modèles**
- ⇒ **Réalisation d'une procédure de validation croisée itérative pour chacun de ces modèles**
- 80 % échantillonnés pour chaque itération et validation sur les 20% restants
 - Nombre d'itérations = 20

Précision des prédictions des trois modèles pour chaque caractère de gestion de l'azote



20 itérations de validation croisée
⇒ 20 points par « boîte à pattes »

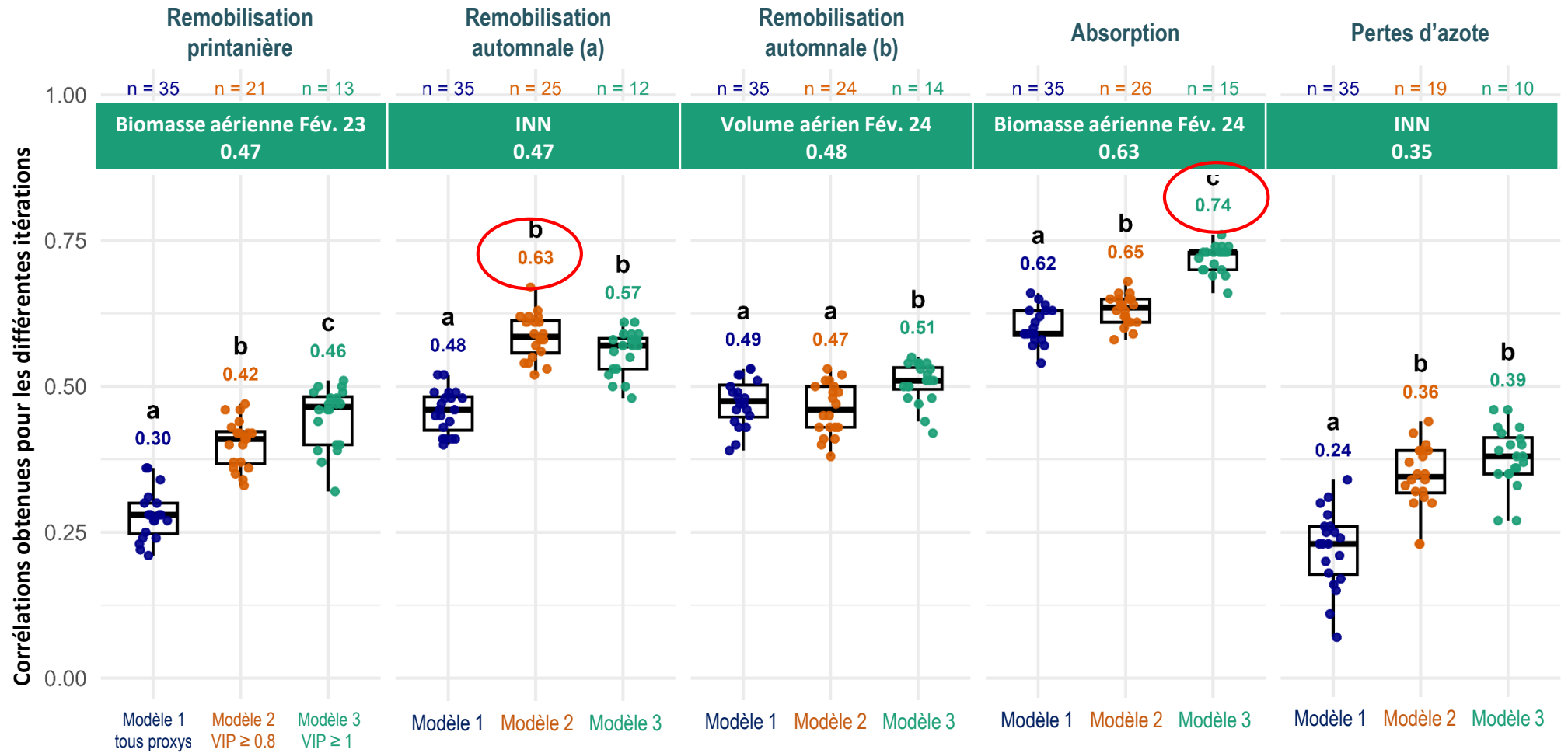
Le modèle 3 comportant les proxys les plus importants ($VIP \geq 1$) donne les prédictions les plus robustes, sauf pour la remobilisation automnale où c'est le modèle 2

Une amélioration nette apportée par la PLS pour la remobilisation automnale et l'absorption

Précision des prédictions des trois modèles pour chaque caractère de gestion de l'azote

Rappel du meilleur proxy individuel sur toute la descendance

20 itérations de validation croisée
⇒ 20 points par « boîte à pattes »



Le modèle 3 comportant les proxys les plus importants ($VIP \geq 1$) donne les prédictions les plus robustes, sauf pour la remobilisation automnale où c'est le modèle 2

Une amélioration nette apportée par la PLS pour la remobilisation automnale et l'absorption

Il ne faut pas négliger l'apport individuel de certains caractères proxys par rapport à la PLS

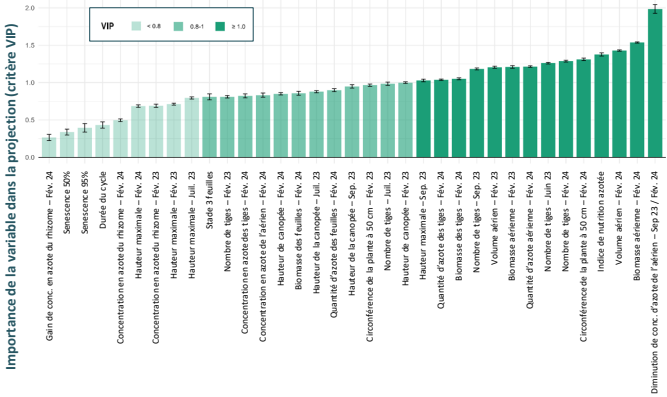
⇒ En perspective, continuer à rendre plus robustes ces calibrations sachant qu'elles ont été établies sur « seulement » une soixantaine d'individus, ce qui est peu pour ce genre de calibration et donc très encourageant !

Prédiction des caractères complexes de gestion de l'azote par des caractères plus simples combinés à l'aide de modélisation statistique

Par modélisation statistique PLS, les proxys les plus importants ont été sélectionnés sur la base du critère VIP : les modèles sont plus parcimonieux et plus performants au niveau prédictif

Nous avons identifié de nouveaux proxys pour les caractères de gestion de l'azote
👉 la majeure partie des proxys montrant individuellement des corrélations plutôt faibles

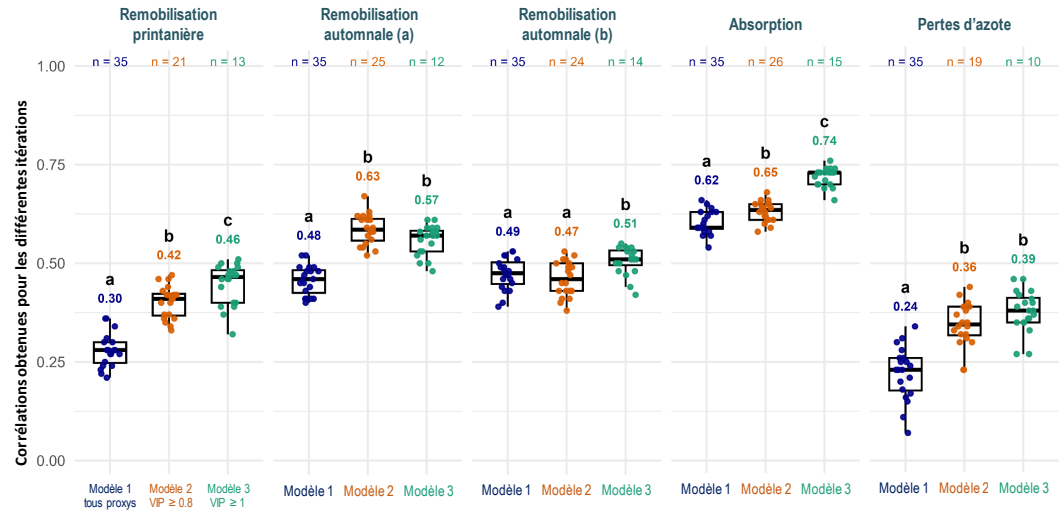
Calibration la plus aboutie est celle de l'absorption de l'azote



- Taille et architecture
- Structure de la canopée
- Stades phénologiques et dynamique de croissance
- Statut azoté (INN)
- Concentration en azote de différents organes / compartiments de la plante
- Quantités d'azote de différents organes / compartiments de la plante



La modélisation PLS combinant plusieurs proxys permet d'améliorer la prédiction, surtout pour l'absorption et la remobilisation automnale : ces proxys, combinés ou individuels selon les caractères de gestion, vont constituer de nouveaux outils pour la recherche et la sélection



Acknowledgements & Thank you

Team miscanthus

Maryse Brancourt-Hulmel

Marion Zapater

Séverine Monnot

Kristelle Lourgant

Julie Warlop

Antoine Andre

Manuel Derrien

Helene Sellier-Richard

Benoit Decaux

Clotilde Delval

Administrative team

Nicolas Housset

Kevin Jaminon

Odile Jaminon

Christine Coffigne

Aline Waquet

Amelie Froidure

Ismerie Prudhommeaux

Pour en savoir plus :

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

Team INRAE

Isabelle Lejeune

Adrien Sonnet

Maëlys Cazier

Frederic Mahu

Nicolas Collanges

Guillaume Vitte

Bryan Hennocq

Joel Leonard

Frida Keuper

Anita Teixeira

Caroline Dominiarczyk

Committee members

Véronique Jorge

Manoël Couprie

Matthieu Reymond

Frédéric Dubois

Julie Leroy

Reviewers & Jury

Emily Heaton

Jacques Le Gouis

Anne Laperche

Loïc Strullu

Komlan Avia

Emily Skowron

Experimental Unit

Marie Heumez-Lévêque

Odile Bore

Stephanie Arnoult

Stephanie Livette

Valentin

Ludivine Pirus

Maxime Deveaux



Merci pour votre attention !

Pour en savoir plus :

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