

Principaux résultats du *projet Mh* et applications envisagées dans le domaine agricole (*projet Sol-AID*)



Laure Beff (INRA – UMR SAS)

Thierry Morvan (INRA – UMR SAS)

Yvon Lambert (CRAB)





1. Présentation du projet Mh et ses principaux résultats

Contexte et enjeux



- La fertilisation azotée des cultures, un sujet particulièrement sensible en Bretagne:
 - Un réseau hydrographique dense de surface et des sols souvent filtrants.
 - Présence de nombreuses filières d'élevage.
- L'équilibre de fertilisation prend une importance toute particulière pour limiter les risques de fuite de d'azote sous les parcelles cultivées.
- Depuis 30 ans, les outils de prédiction des quantités d'azote à apporter aux cultures (plan de fumure prévisionnel) reposent sur l'utilisation de la méthode dite du bilan prévisionnel.
- Malgré de nombreux essais agronomiques, la précision de cette méthode se heurte toujours à la difficulté de prédire **la minéralisation de la matière organique des sols (Mh) qui est le poste le plus important et le plus variable**

Objectifs scientifiques et opérationnels

- Acquérir des références sur la minéralisation des sols Bretons
- Identifier et hiérarchiser les facteurs qui déterminent la minéralisation de la MO des sols
- Construire un modèle prédictif de Mh pour la Bretagne dans le cadre du formalisme national du Comifer
- Proposer un plan de travail pour transférer les acquis du réseau Mh dans les outils de conseil de fertilisation des cultures actuels pour en améliorer la précision

Cadre et Acteurs



- Programme GP5 du contrat de plan Etat-Région-Départements visant à la reconquête de la qualité des eaux.
- Maîtres d'ouvrage:
 - Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne.
 - INRA UMR SAS de Rennes.
- Partenaires:
 - Structures de Bassin Versant.
- Financeurs:
 - 2010 – 2014: Agence de l'Eau Loire Bretagne (50%), Conseil Régional de Bretagne (30%), Conseils départementaux du Morbihan, du Finistère et des Côtes d'Armor (20%).
 - 2015: Agence de l'Eau Loire Bretagne et DRAAF
- Budget sur 5 ans:
 - 1.5 M€ dont 20% d'autofinancement

Le réseau Mh (2010-2014)

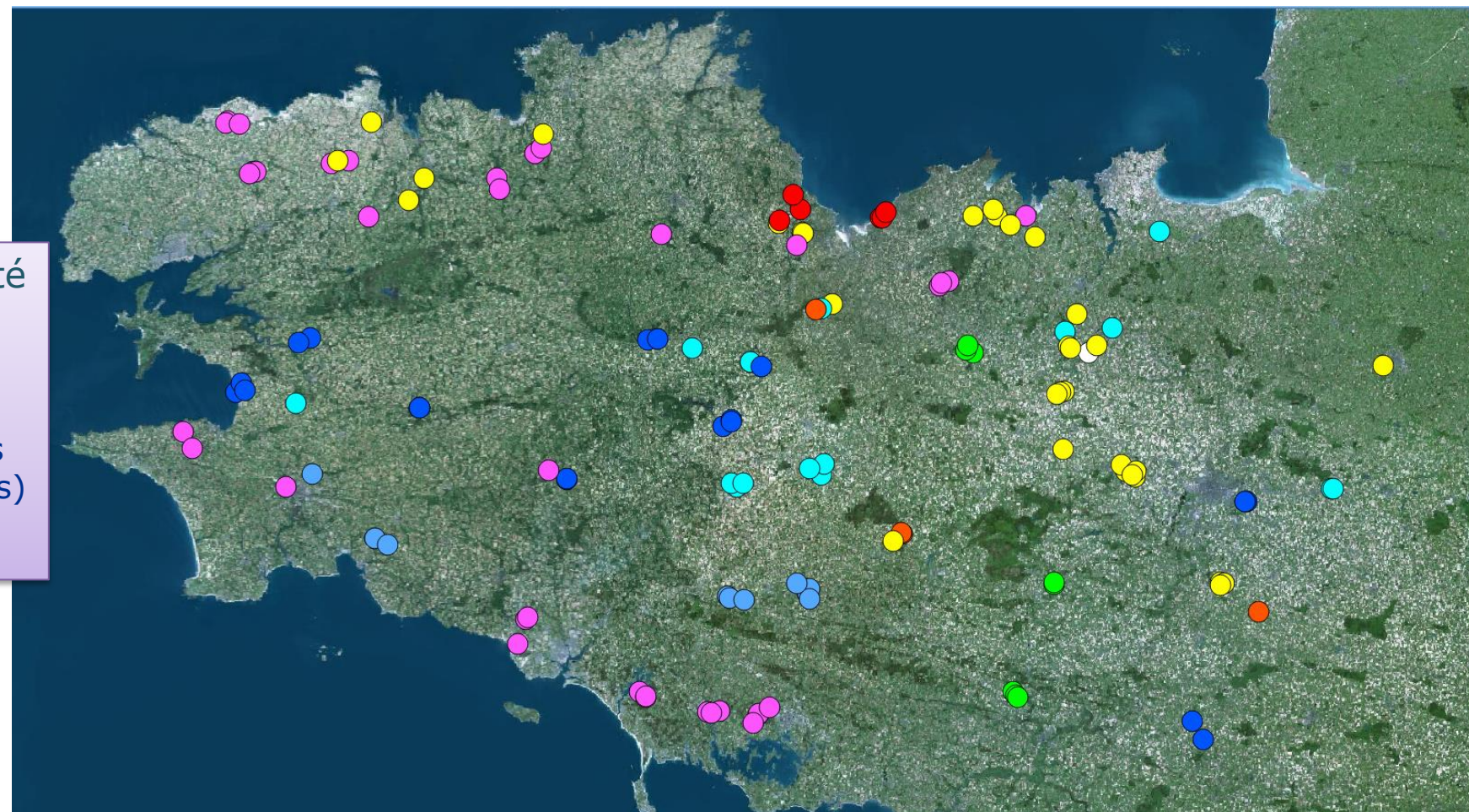
137 parcelles cultivées
pendant 5 années consécutives

- en monoculture maïs
- sans aucune fertilisation N
- laissé nu pendant l'hiver

Bonne représentativité de la diversité
régionale:

- des sols (effectif équilibré entre
granites/schistes et limons)
- de l'histoire culturelle (successions
des cultures et apports organiques)
- du climat

Autre
Schiste Gréseux et micaschiste
Granite et Gneiss
Limon
Schiste tendre
Schiste moyen/dur
Grès dur, quartz et poudingues
Alluvions/colluvions
Roches volcaniques



Approche Comifer pour prédire "Mh"

- L'approche adoptée au niveau national (Comifer, 2011) pour prédire Mh repose sur un modèle qui intègre l'effet de trois composantes :
 - les caractéristiques des sols
 - l'histoire culturelle.
 - le climat.

$$M_h = \frac{K_{m\ st} \cdot TN_{org} \cdot F_{syst} \cdot Jn}{Vp}$$

$$K_{m\ st} = f(\text{Arg}, \text{CaCO}_3)$$

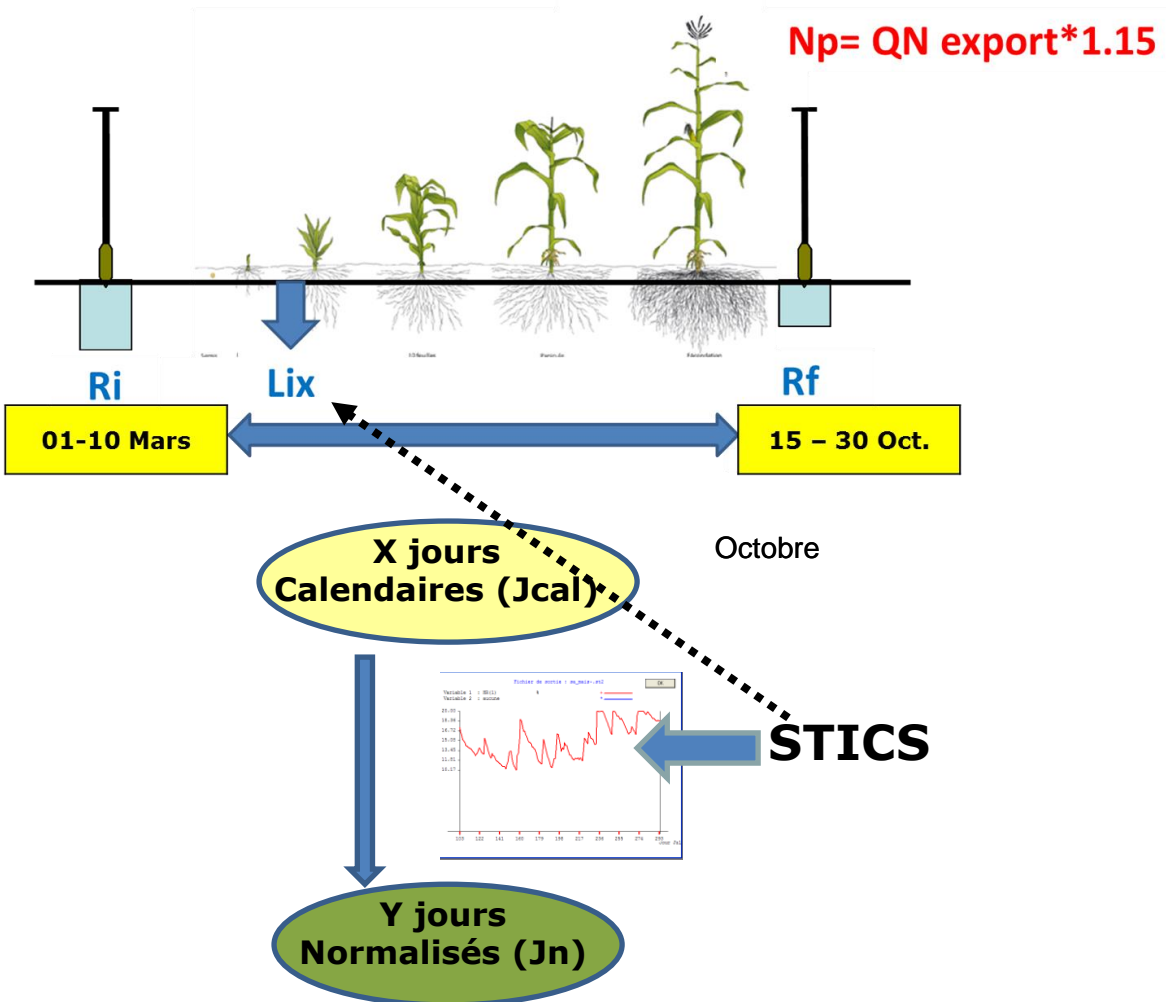
TN_{org} : stock N organique

F_{syst} = f(résidus culture ; apports organiques)

Jn : nombre de jours normalisés

→ L'évaluation par différentes approches expérimentales (bilans N, mesures de laboratoire) a mis en évidence la mauvaise qualité des prédictions pour les sols Bretons avec le paramétrage actuel de ce modèle.

La démarche expérimentale pour déterminer Mh



Bilan N annuel :

$$M_n = (R_f - R_i) + N_p + L_{ix}$$

$$\approx M_h$$

2010-2011 2012 2013 2014

Utilisation de STICS pour :

- calculer J_n
- estimer la lixiviation (L_{ix})

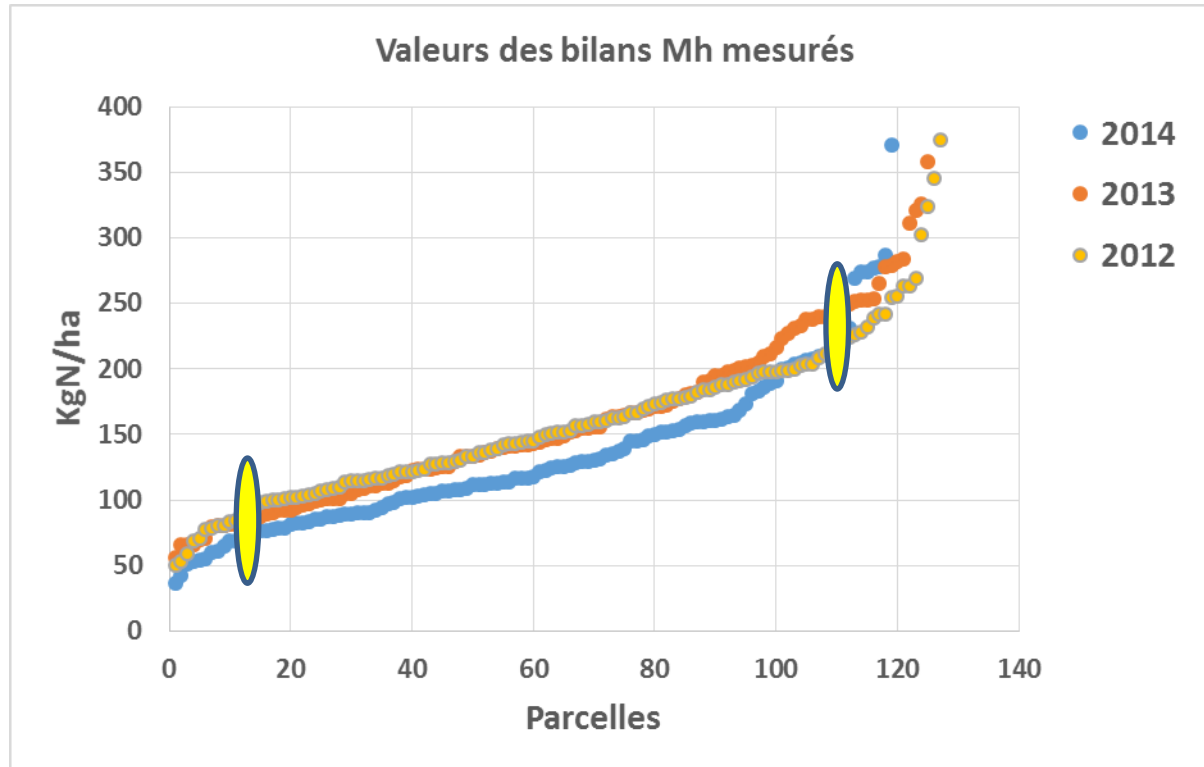
Variable d'intérêt :

V_p = vitesse potentielle de minéralisation (kgN/ha/Jn)

$$V_p = M_h / J_n$$

$J_n = \ll \text{temps normalisé} \gg$

Gamme de variation des bilans Mh mesurés



Année	Bilan Moyenne	Nb Jcal	Bilan SD	Q10	Q90
2014	139	211	71.4	76	211
2013	160	232	64.8	85	251
2012	158	227	59.1	93	230

La gamme des valeurs de bilans vérifie l'hypothèse de travail de départ. A savoir, des flux de minéralisation nette très différents d'une parcelle à l'autre.

Qualification de l'histoire culturelle: Elaboration d'un indicateur de l'effet système (I_Sys)

I_Sys = indicateur de l'histoire culturelle calculé sur 15 ans
I_Sys = I_Cult + I_PRO

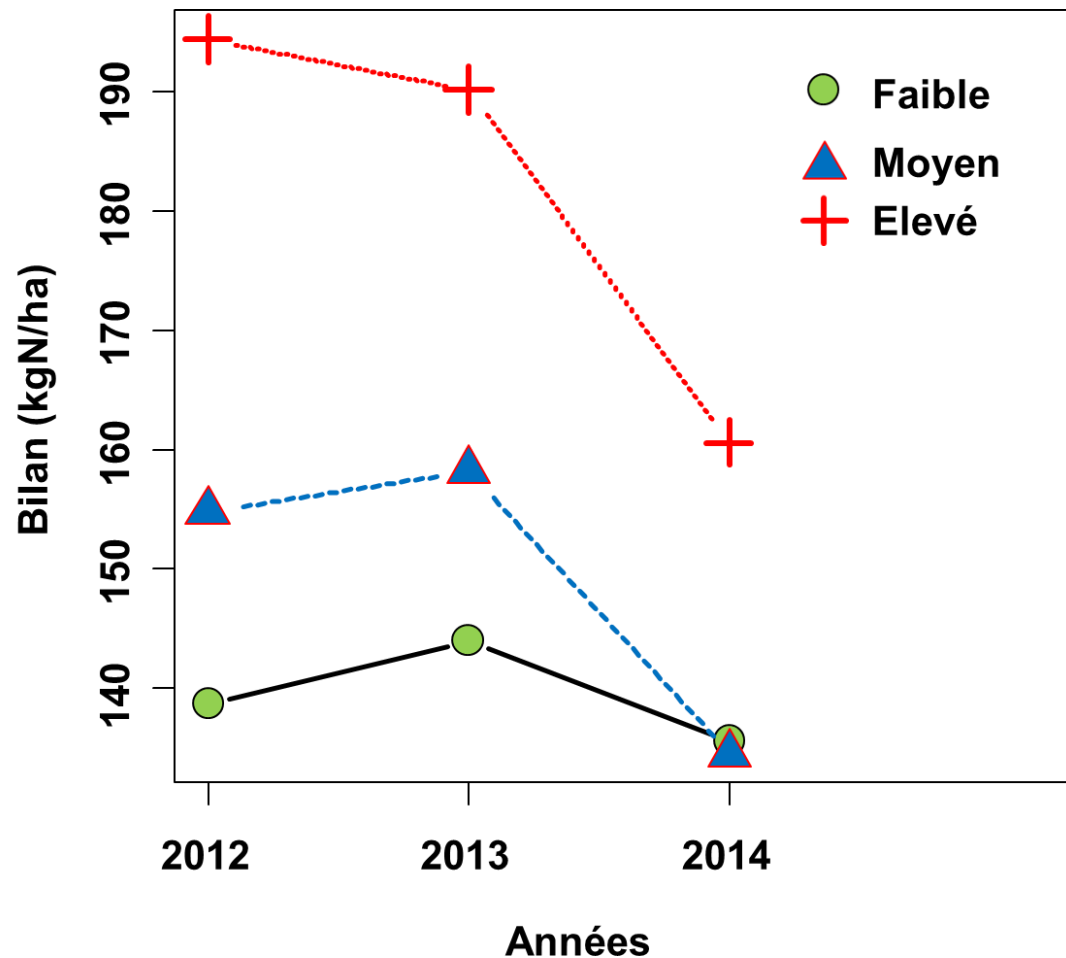
I_Cult :

- Historique cultural sur 15 ans
- Moyenne des bilans azotés annuels calculés pour chaque culture

I_PRO :

- Estimation du flux de minéralisation exprimé en kgN/ha lié aux apports d'effluents

L'effet système sur les valeurs de bilan à partir d'une classification à 3 niveaux de I_Sys

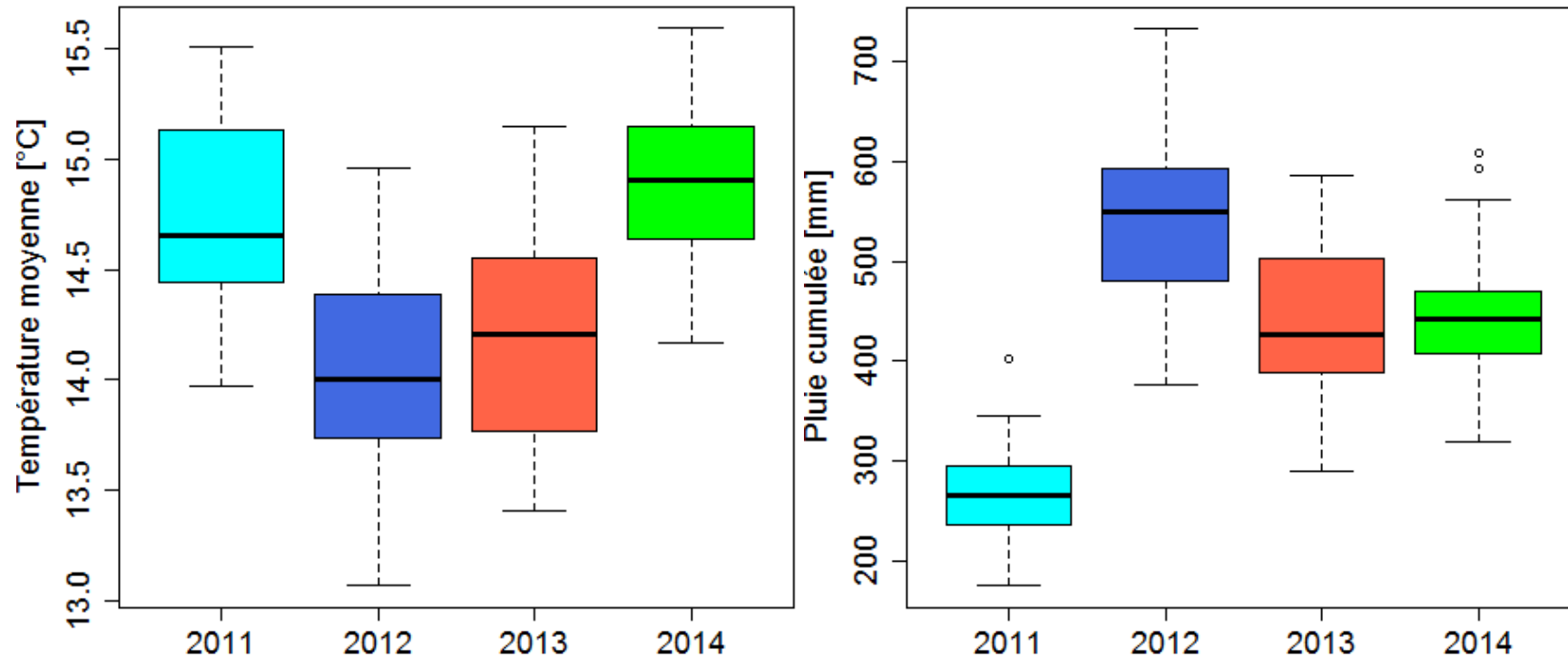


- Les parcelles de classe I_Sys Elevé présentent des valeurs de bilans significativement supérieures aux 2 autres classes

Année	Bilan Moyenne	Bilan SD	I_Sys Faible	I_Sys Moyen	I_Sys Elevé
2014	139	71.4	136	135	161
2013	160	64.8	144	158	190
2012	158	59.1	139	155	194

Quelle est la variabilité du climat sur le Réseau Mh ?

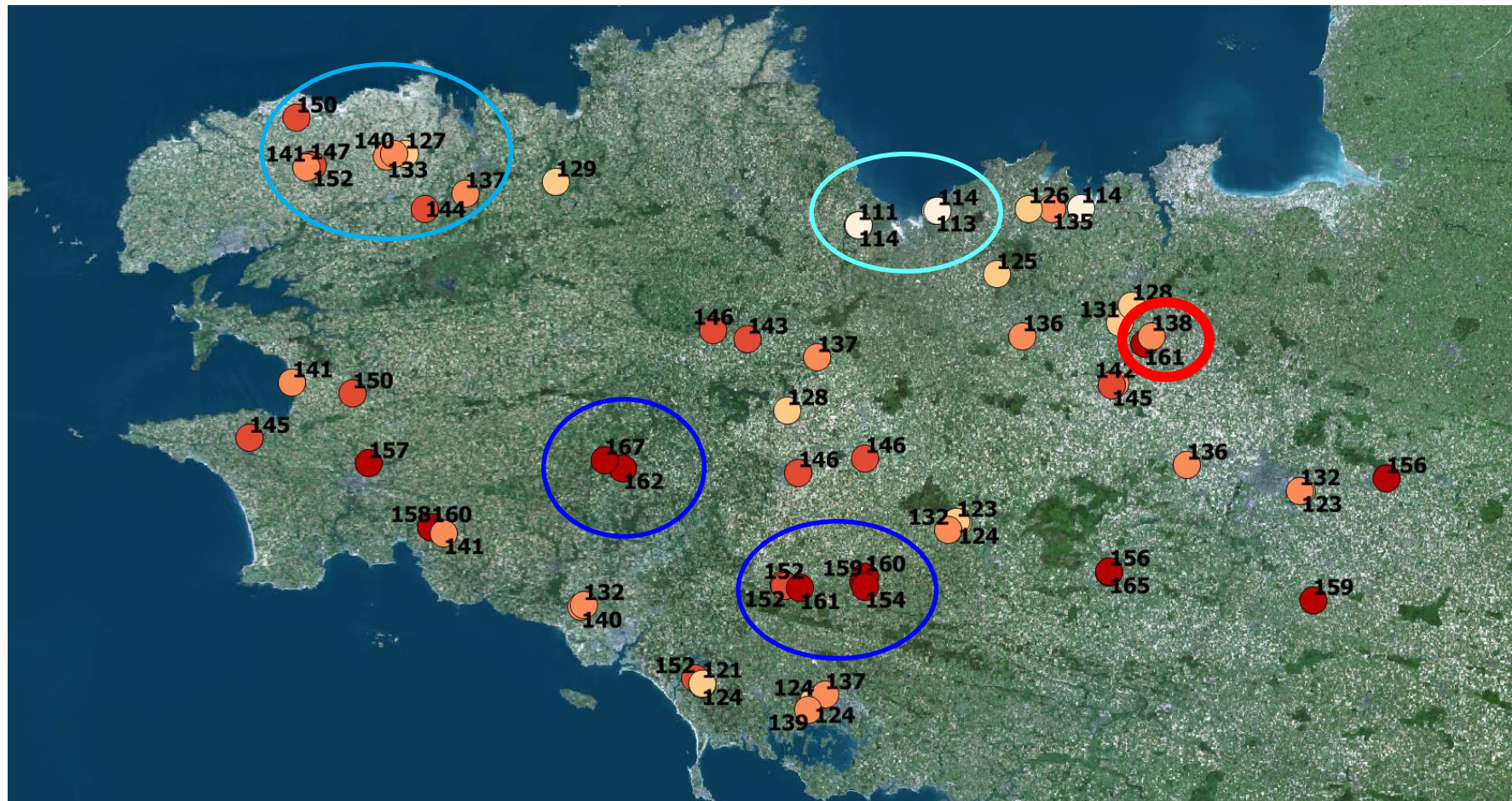
❖ Mesures réalisées entre Ri et Rf



- Variabilité inter-annuelle importante
 - Température moyenne plus élevée en 2011 et 2014
 - Pluie cumulée plus faible en 2011
- Variabilité intra-annuelle
 - Différences de T° moyenne et Pluie cumulée entre les parcelles pour une année

Les Jn_Maize moyen des parcelles du projet Mh

$$Mh = Vp \cdot Jn$$



Généralement :

- les parcelles proches géographiquement ont des valeurs proches de Jn
→ **Zonage climatique**

Dans certains cas :

- 2 parcelles proches (~même météo) ont parfois des Jn_Maize moyen différents
→ **Effet du sol**

Parcelle	221202	221200
Jn_Maize	138	161
Type de sol	Limon	Alluvions
Stock N [kgN/ha]	3550	5821
Hpf [g _{eau} /100g _{sol}]	7.94	14.9
pH	5.81	7.83
Argile [g/kg]	164	390

La base de données SOL



Mesures physiques

- Humidité capacité au champ (Hcc)
- Humidité au point de flétrissement (Hpf)
- Densité apparente Da
- % Terre fine
- Granulométrie 5 fractions
- DaTF, RU

Mesures chimiques

- Teneurs C et N
- pH, CEC
- Fractionnement MO
- Elts totaux et échangeables (P, K, Ca, Mg, Mn, ...)
- P Olsen, P Dyer et P soluble à l'eau (Pgm TRANS-P)

Indicateurs

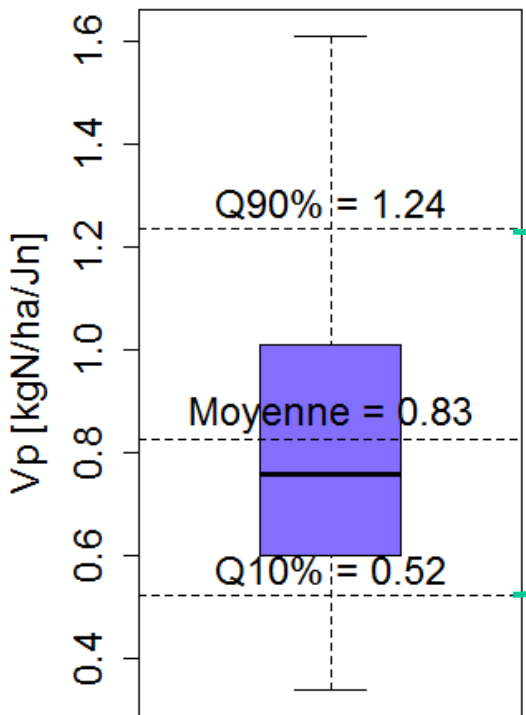
- Biomasse microbienne
- Incubation anaérobie
- N minéralisable
 - extraction KCl à chaud
 - Extraction à l'eau à 100°C
 - Extraction tampon phosphate – borate (APM): coll. In Vivo

Gamme de variation de Vp

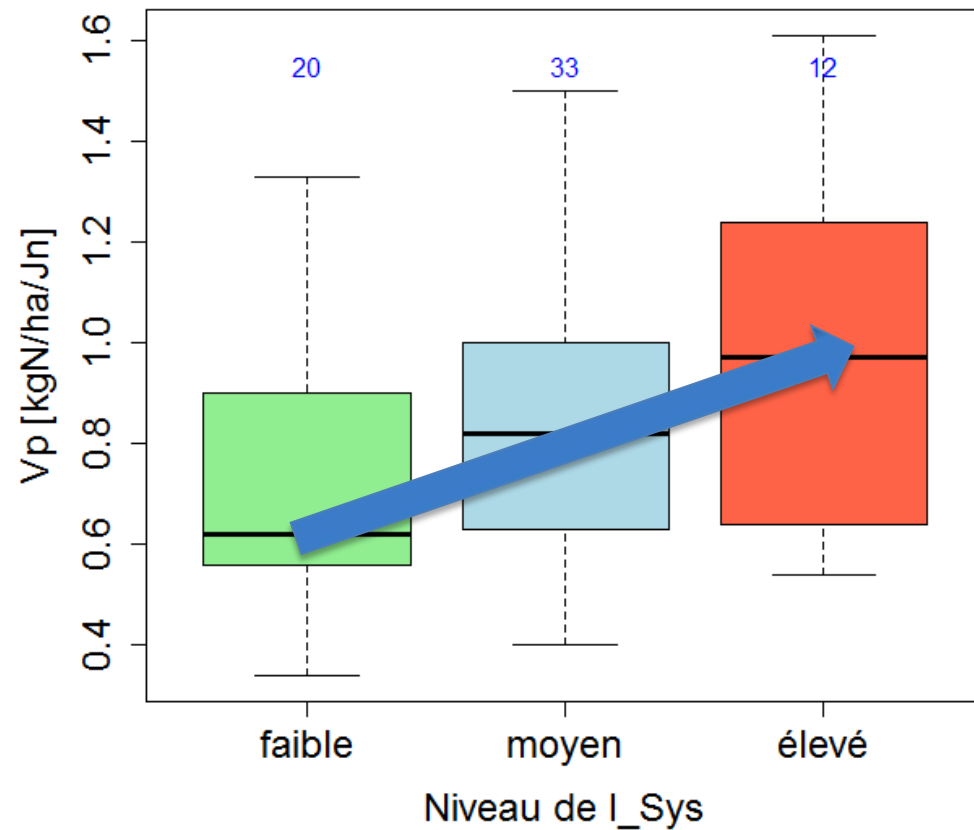
$$Mh = Vp \cdot Jn$$

Gamme de Vp

Gamme de variation de la minéralisation entre Ri et Rf



197 kgN/ha
132 kgN/ha
78 kgN/ha



Effet hautement significatif de I_Sys ($r = 0.41, P < 0.001$)

Niveaux de I_Sys
Faible ≤ 62 kgN/ha,
Moyen : entre 62 et 107 kgN/ha
Élevé : > 107 kgN/ha

Les corrélations entre les variables et Vp

- Nombreuses corrélations significatives:
 - Indicateurs de minéralisation $\approx I_{\text{Sys}} > \text{Stock C et N} > \text{Texture}$
 - Aucune corrélation n'est suffisante pour expliquer à elle seule la variabilité de Vp ($r_{\text{max}} = 0.45, R^2 = 0.2$)
 - Prédiction de Vp à l'aide de plusieurs variables complémentaires :
 - indicateur de l'histoire culturale
 - indicateurs de minéralisation
 - texture et propriétés des sols
- Elaboration d'un modèle additif (GAM) comprenant plusieurs variables explicatives

Méthode d'élaboration d'un modèle prédictif de V_p



Méthode Statistique GAM : Generalized Additive Model

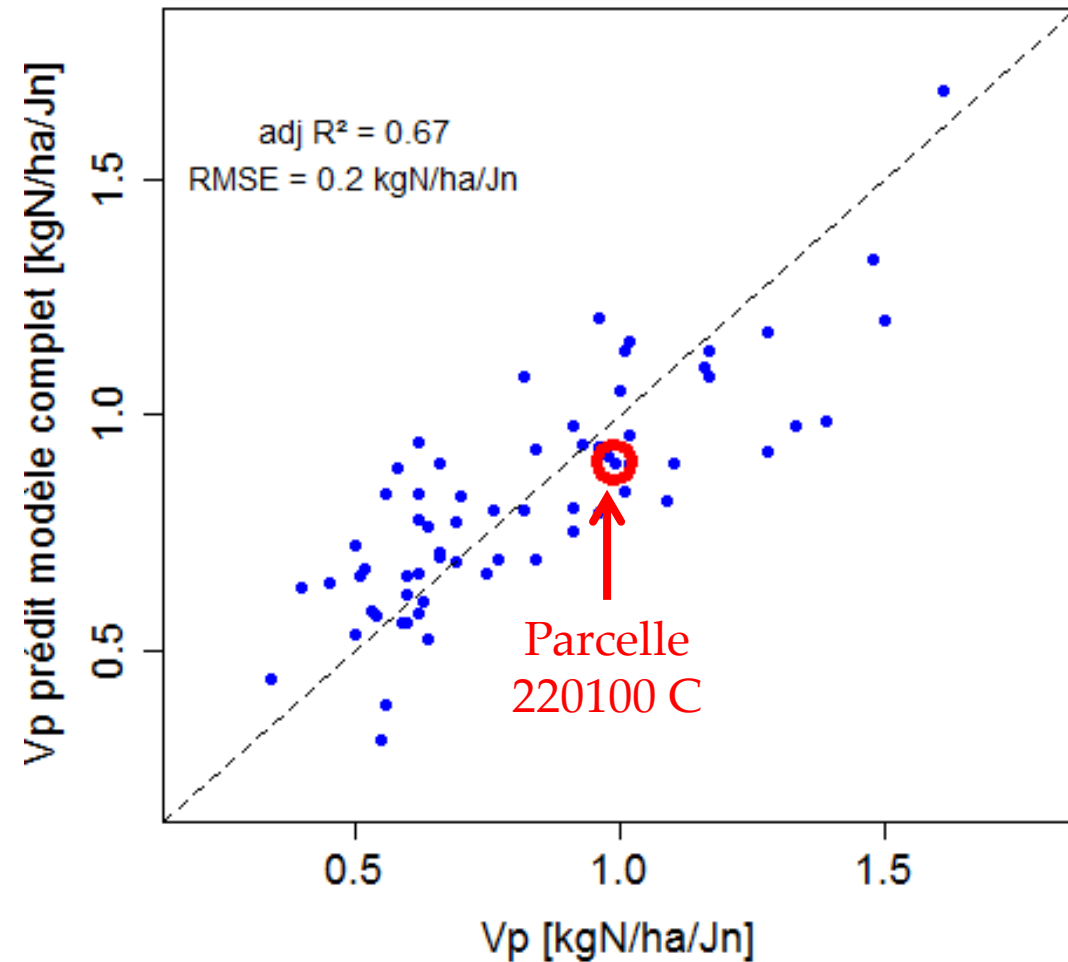
- Permet de créer un modèle additif (permet d'appréhender l'importance de chaque composante dans le modèle)
- Permet de considérer des réponses linéaires, carrées, cubiques, polynômiales...

Choix des variables et de leur forme par minimisation du MSEP (Mean Square Error of Prediction) : critère Statistique

- Evalue la qualité **prédictive** du modèle
- Méthode de validation interne du modèle
- Permet d'éviter le sur-ajustement du modèle aux données



Evaluation de la prédiction de Vp : modèle complet



■ Ce modèle contient :

	Forme	dMSEP
Lf	Linéaire	0.764
Sf	Linéaire	0.566
CECsurArg	Polynôme de degré 2	0.580
POM_gN	Linéaire	0.590
APM_kg_ha	Linéaire	0.923
Biom_kg_ha	Linéaire	0.506
I_Sys_V3	Linéaire	0.551

Propriétés des sols

Propriétés de la MO

Indicateurs de min

Indicateurs hist cult

- Bonne prédiction de Vp avec ce modèle
 - 40% des points à +/- 0.1 et 75% des points à +/- 0.2 kgN.ha⁻¹.Jn⁻¹
- Les variables qui pèsent le plus sur le modèle sont APM (en +) et Lf (en -)

Dans une optique de prédiction...

- Le modèle complet requiert des propriétés des sols parfois difficiles à obtenir (i.e. Biomasse microbienne, fractionnement granulométrique de la MO...)
- Dans une optique de prédiction opérationnelle de Mh, nous avons réalisé d'autres modèles de prédiction :
 - un modèle contenant uniquement **l'indicateur système**, I_Sys (~BPR)
 - un modèle contenant uniquement des **propriétés des sols** relativement accessibles et **I_Sys** (Modèle Sol-I_Sys)
 - en ajoutant en plus un **indicateur de la minéralisation**

Comparaison des différents modèles de prédiction de V_p



Modèle	Variables	R ² ajusté	MSEP	RPIQ
I_Sys	I_Sys	0.16	0.074	1.51
Sol + I_Sys	I_Sys, Sf, Sq, C/N	0.34	0.065	1.61
Sol + I_Sys + APM	I_Sys, Sg, Ten_N, CEC/Arg, APM	0.5	0.049	1.86
Sol + I_Sys + Biom	I_Sys, Sg, C/N, Hcc, P Olsen, pH, Biom	0.6	0.044	1.96
Complet	I_Sys, Sf, Lf, CEC/Arg, POM_gN, APM, Biom	0.67	0.038	2.1

- **Modèle opérationnel : Sol + I_Sys + APM**
 - car APM est plus facile à mesurer que Biom et est relativement stable dans le temps
 - compromis entre facilité d'obtention des variables et qualité de prédiction

Vers un nouveau calcul de la fourniture de l'azote du sol: Mh

Actuellement:

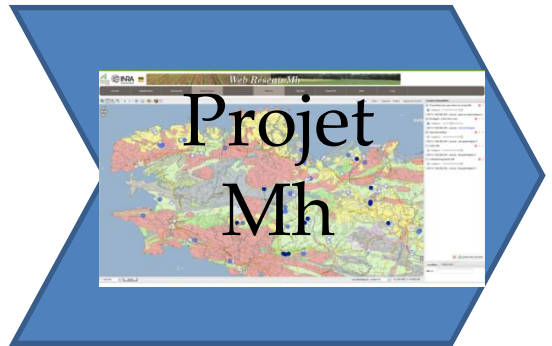
- grilles pour la Bretagne

7. Contribution de l'humus du sol et du système de cultures

Système de cultures		kg N/ha
Maïs - Céréales	Rotation maïs ensilage et céréales (cipan)	80
	Rotation maïs grain et céréales (cipan)	90
Prairies pâturées avec 3 pâturages par an	3 années de prairie sur 10	90
	5 années de prairie sur 10	100
	8 années de prairie sur 10	110
Légumes	Système endivier et terres de st Malo	70
	Légumes céréales ou lég. Industries	100
	Légumes frais 100 %	110

Transition:

- Projet Mh



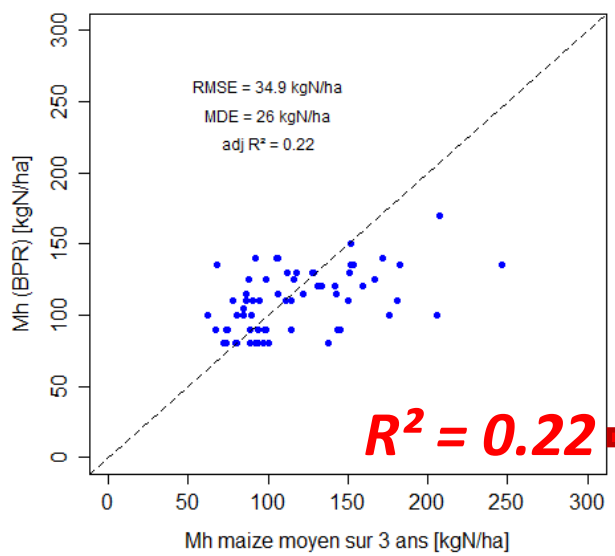
Futur:

- Sol-AID avec nouveau modèle de calcul de Mh

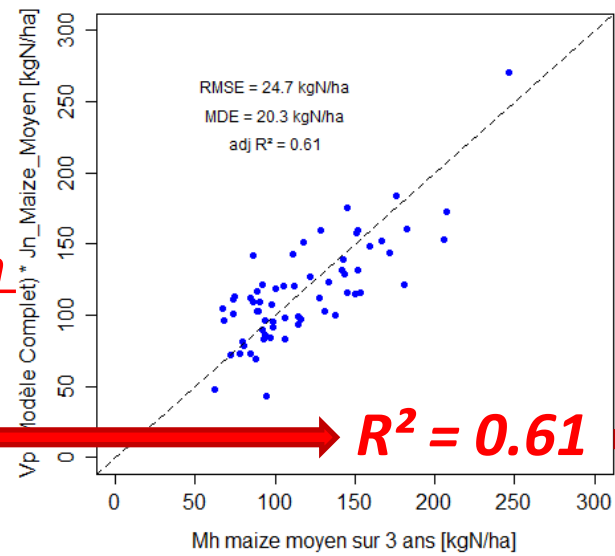
$$Mh = Vp \cdot Jn$$

- Jn = fonction
- Climat
 - Sol
 - Culture année

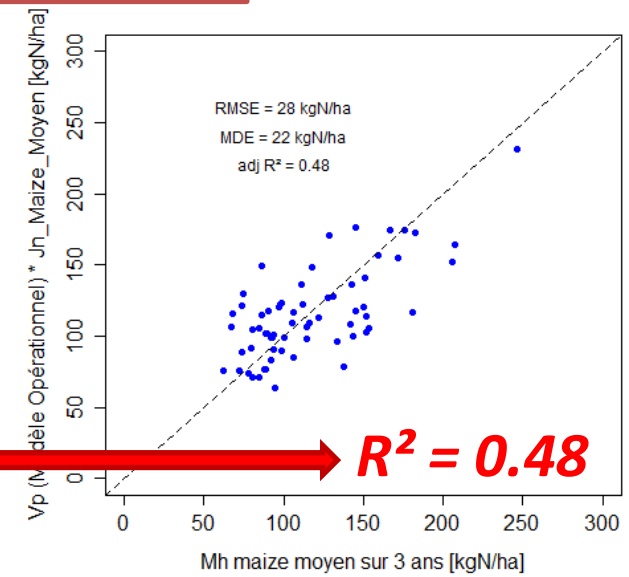
- Vp = fonction
- Histoire culturelle
 - Sol



Amélioration du calcul de Mh



Calcul opérationnel de Mh

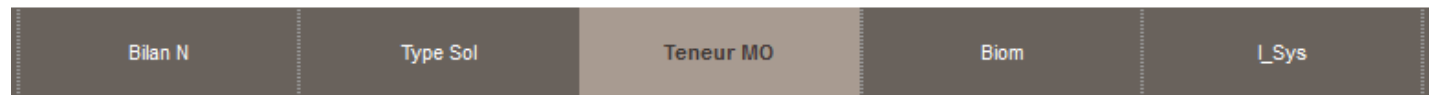
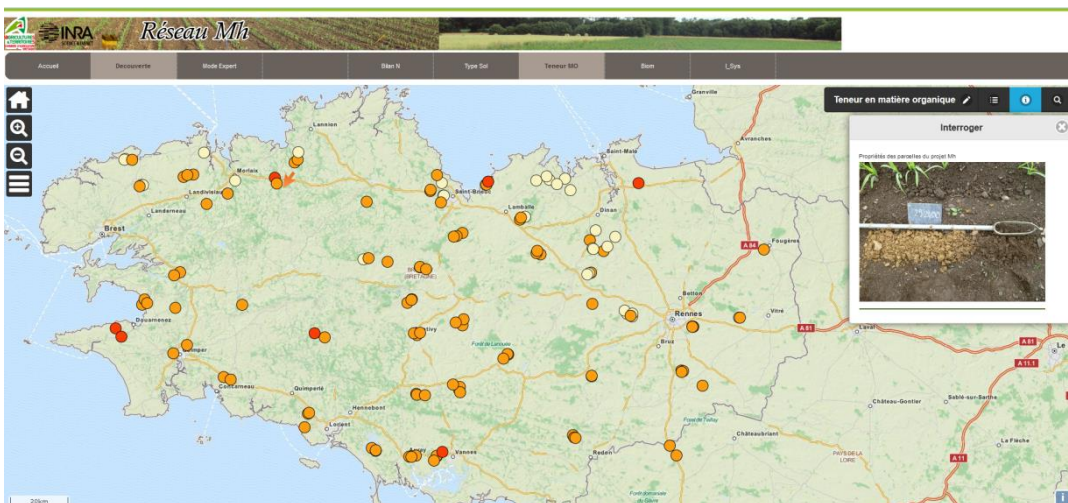


La plateforme web "Web Réseau Mh" ?

<http://geowww.agrocampus-ouest.fr/portails/?portail=mh>

Une application Web gratuite et libre d'accès

Objectif : Permettre aux agriculteurs, conseillers, scientifiques, curieux de visualiser en quelques clics les principaux résultats du projet Mh



Les données peuvent être visualisées mais restent anonymes

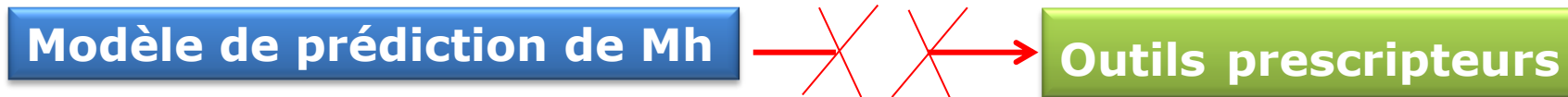
Compatible avec la directive européenne INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community) :

- Règles qui rendent l'application compatible nationalement et internationalement
- Carte donc disponible sur les catalogues régionaux et nationaux de manière automatique



2. Applications envisagées dans le domaine agricole (projet Sol-AID)

Sol-AID : une application indispensable pour le nouveau calcul de la minéralisation des sols en Bretagne



- Bases de données SOL
- Calcul de I_Sys
- Bases de données Météo
- Maîtrise du modèle STICS pour le calcul du temps normalisé

Sol-AID

Le volet SOL

- Démarche spécifique pour estimer les propriétés du sol nécessaires au calcul de la minéralisation

Valorisation des résultats du projet Mh et du programme Sols de Bretagne

Le volet CLIMAT

- Module de calcul du temps normalisé = $f(\text{climat moyen, propriétés du sol})$
STICS

Le volet HISTOIRE CULTURALE

- Calcul de l'indicateur de l'histoire culturelle (I_Sys) = $f(\text{rotation, apport de PRO sur 15 ans})$

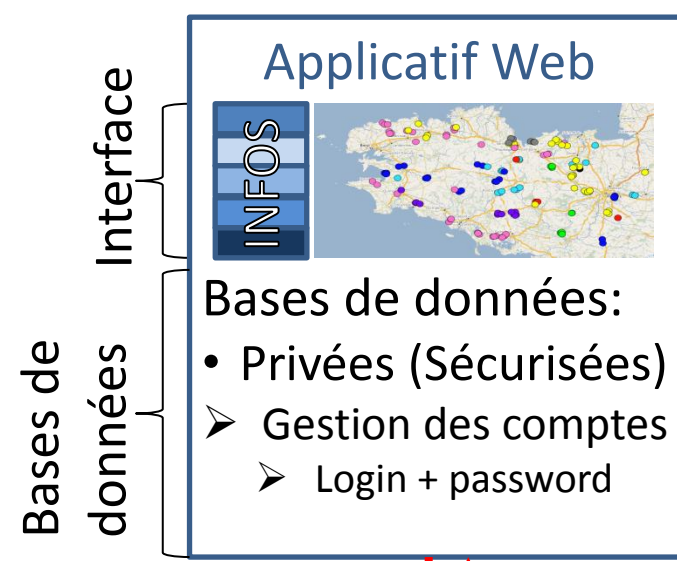
➔ **Le projet Sol-AID = un outil d'aide à la prescription ET un volet expérimental pour la validation de l'outil**

Objectifs du projet Sol-AID



- Création de l'outil Sol-AID qui sera:
 - Un outil d'aide à la prescription de la fertilisation N:
 - ✓ Réalisera les calculs et déterminera la valeur de Mh de chaque parcelle à partir de sa position géographique.
 - Disponible sur une application web dont l'ergonomie sera étudiée pour une prise en main immédiate
 - Un service de calcul interopérable conforme au standard WPS qui permettra de réaliser aisément des passerelles avec les différents outils des prescripteurs et avec les portails cartographiques Sols de Bretagne et Mh
 - Un outil hybride au niveau des sources:
 - ✓ données publiques (Bases de données Mh + Sols de Bretagne)
 - ✓ données privées sécurisées et disponibles uniquement avec un accès réservé (Analyses de sols de l'agriculteur et histoire culturelle)
 - Conçu de manière modulaire, avec chaque module correspondant à une thématique de travail définie: module SOL, module HISTOIRE CULTURALE, module CLIMAT, module Mh, module INFORMATIQUE.
- L'évaluation expérimentale de l'outil.

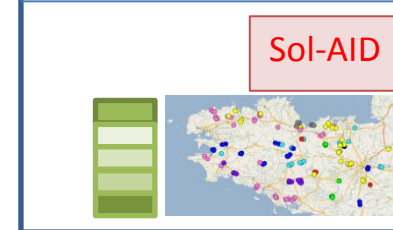
L'outil Sol-AID



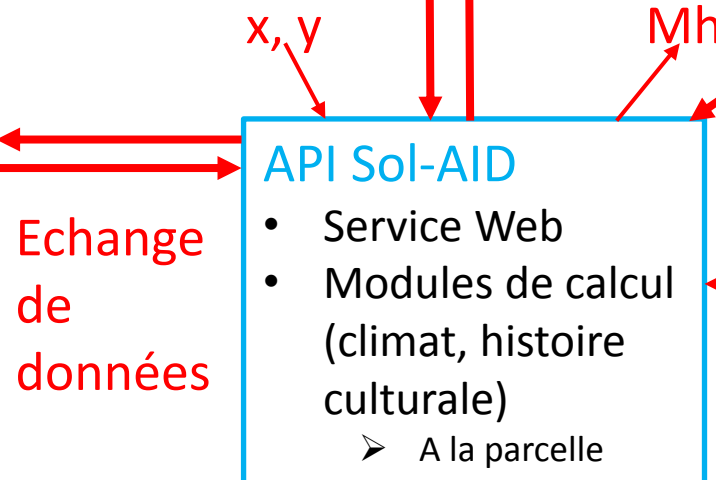
Extensions
Add-on

Outils prescripteurs

- Applicatif
 - Web
 - Desktop
- Possibilité de mobiliser le service Sol-AID (avec sécurisation)



Web



x, y UTS tree

UCS

API Sol (Bretagne)

Base de données parcellaire

- Sécurisées

Ressources
(données spatiale)

Services Cartographique

- Données utiles
- GéoBretagne
 - GéoSAS
 - ...
- Fonds de carte
- IGN
 - Open Street Map

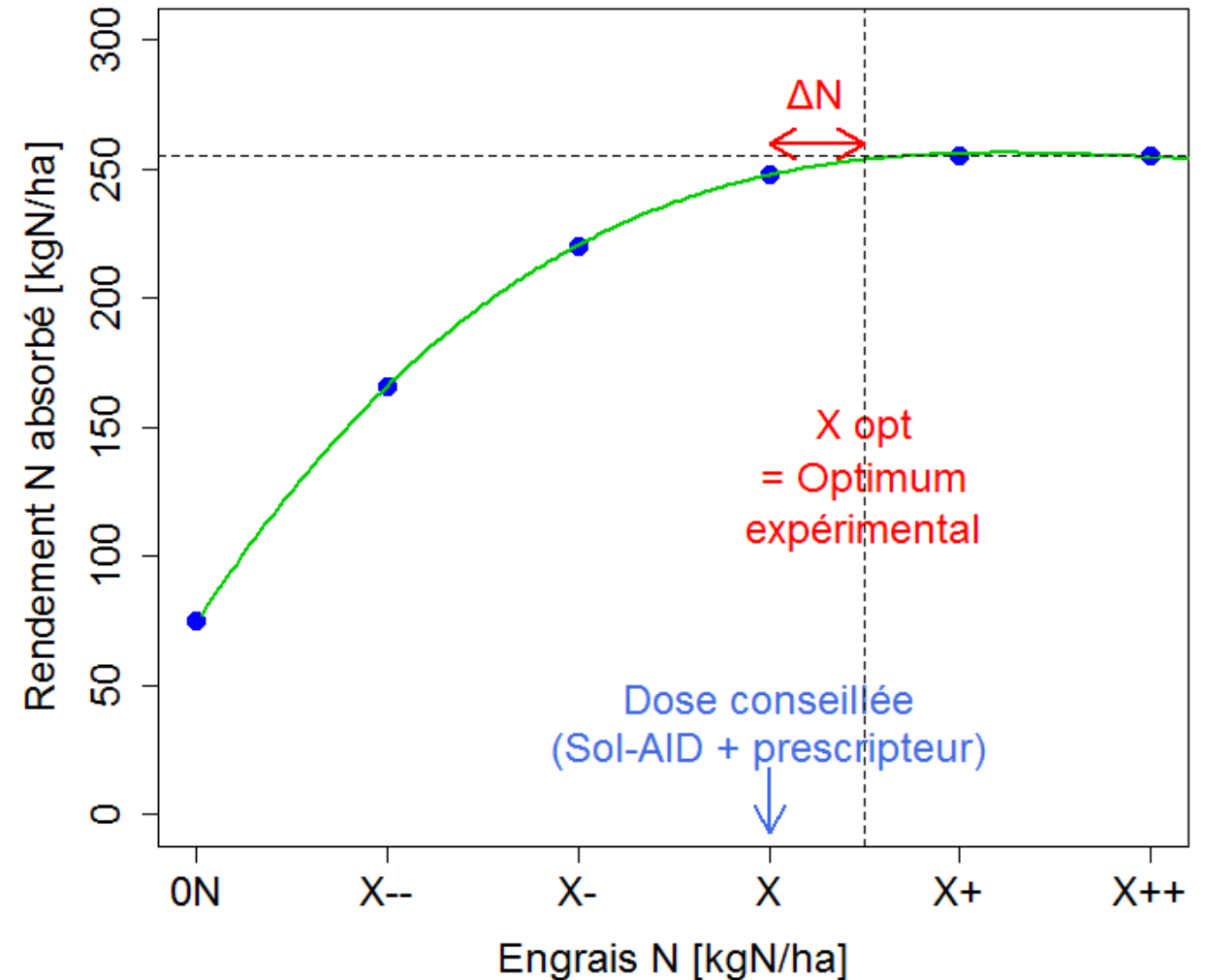
Evaluation expérimentale de l'outil

Courbes de réponses à l'azote

- 20 parcelles
- 2 années maïs et 1 année blé

Stabilité de l'APM et facteurs l'influençant

- 40 parcelles issues du "projet Mh"
- 40 mesures en sortie d'hiver et 20 mesures en fin d'été
- Parcelles avec et sans changement d'usage depuis 2013



Conclusion



- Sol-AID répond à l'objectif d'aller jusqu'à la valorisation opérationnelle des résultats du projet Mh, par la conception d'un outil d'accès libre et mis à disposition de tous les prescripteurs
- Sol-AID est conçu pour l'aide au raisonnement de la fertilisation N, mais il dépasse largement le cadre de cette utilisation, et sera utile pour d'autres applications :
 - mise à disposition des données Sol requises par les modèles agronomiques utilisés pour convertir les données de télédétection,
 - calcul de la RU,
 - indice de sécheresse, risque érosif ...
- Sol-AID est un projet INRA Agrocampus – CRAB, d'une durée de 4 ans, nécessaire à l'élaboration de l'outil et à son évaluation expérimentale. Mise à disposition opérationnelle fin 2019, avec un 1^{er} livrable de la plateforme web disponible fin 2017. Financement AELB, CRB et DRAAF



Vannes, le 30 novembre 2016