

Le réseau Mh :

Un projet de R&D sur la minéralisation des sols bretons

Thierry Morvan¹, Yvon Lambert², Laure Beff¹

thierry.morvan@inra.fr , yvon.lambert@bretagne.chambagri.fr , laure.beff@inra.fr

¹ UMR SAS, AGROCAMPUS OUEST, INRA, Rennes, France ; ² Chambre d'agriculture de Bretagne, Rennes, France

Contexte et enjeux



‘Does the prediction of soil N mineralization hold to the search of Graal ?’ *Ros et al., 2015*

Modèle ‘Comifer’ adopté au niveau national :

$$M_h = K_m \cdot \text{StockN} \cdot F_{\text{syst}} \cdot J_n$$

└──────────────────┘
V_p

Particularités du contexte régional :

- ✓ Apports de PROs fréquents et importants depuis les années 60
- ✓ Diversité des successions culturales, induisant des niveaux de restitution de résidus très variables (monoculture maïs vs succession prairie / cultures)
Variable F_{syst} du Comifer à affiner
- ✓ Fonds géochimique - gamme très large de teneurs en MO
Paramétrage du modèle Comifer non adapté
- ✓ Climat favorable à la minéralisation (enjeu fort / maîtrise de la lixiviation)

*Modèle Comifer non utilisé en Bretagne
Remplacé par des bases de préconisation régionales très simplifiées*

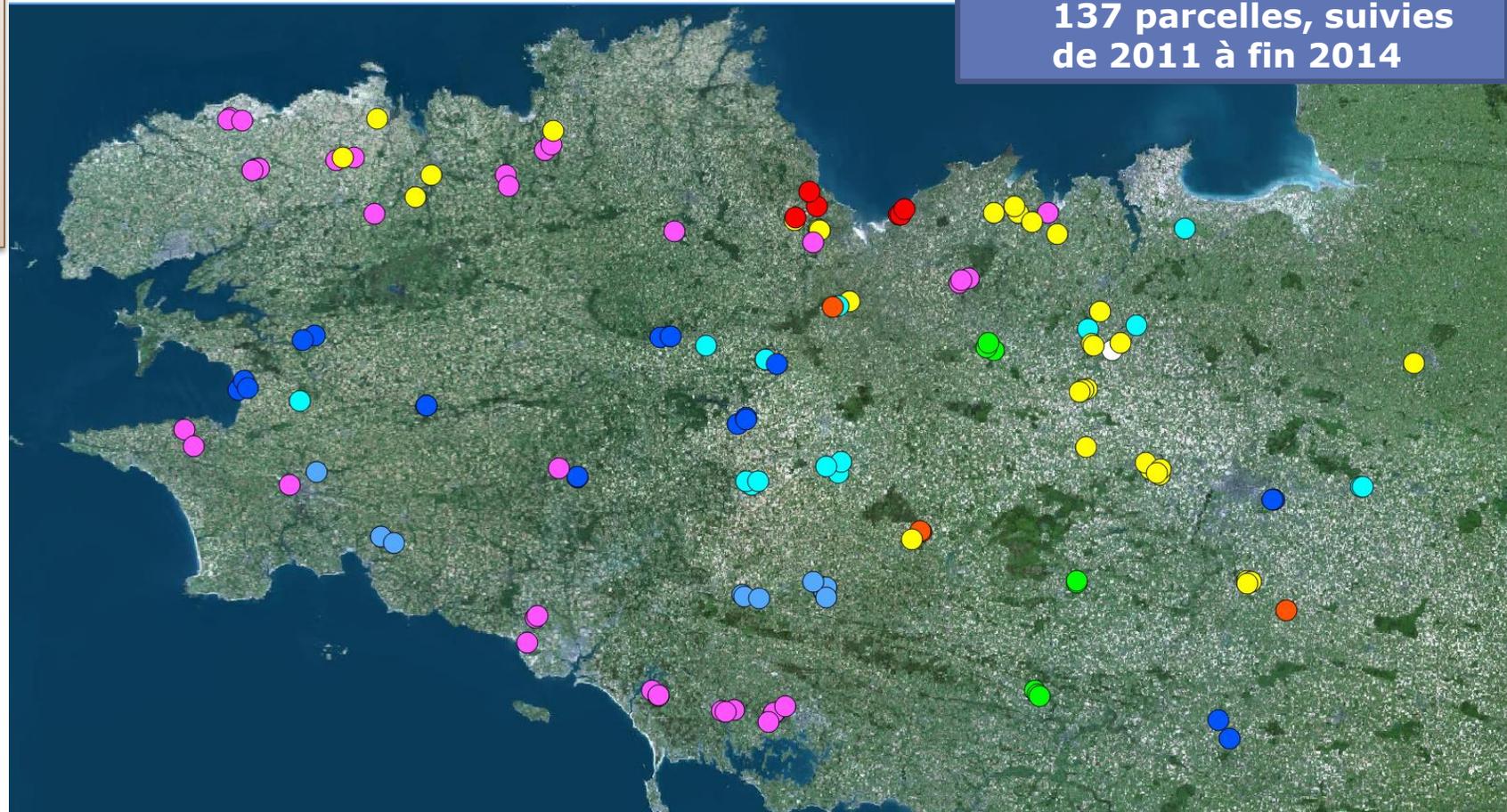
Le réseau Mh (2010-2014)

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

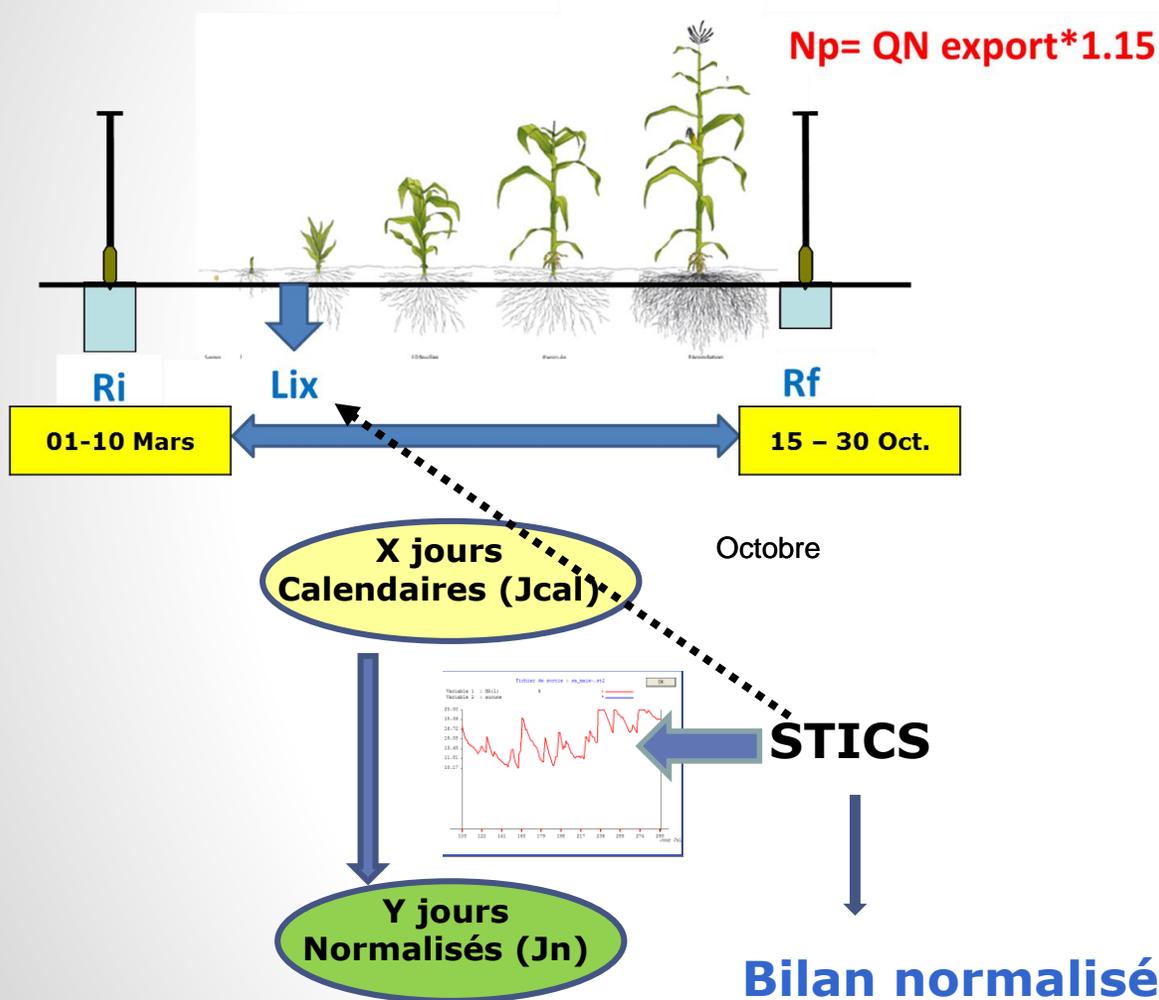
- ✓ Pré campagne sur 75 parcelles en 2010
- ✓ Réseau complet de 137 parcelles, suivies de 2011 à fin 2014

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



La démarche expérimentale pour déterminer Mh:

Originalité et points forts du protocole



Bilan N annuel :

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

$$\approx M_h$$

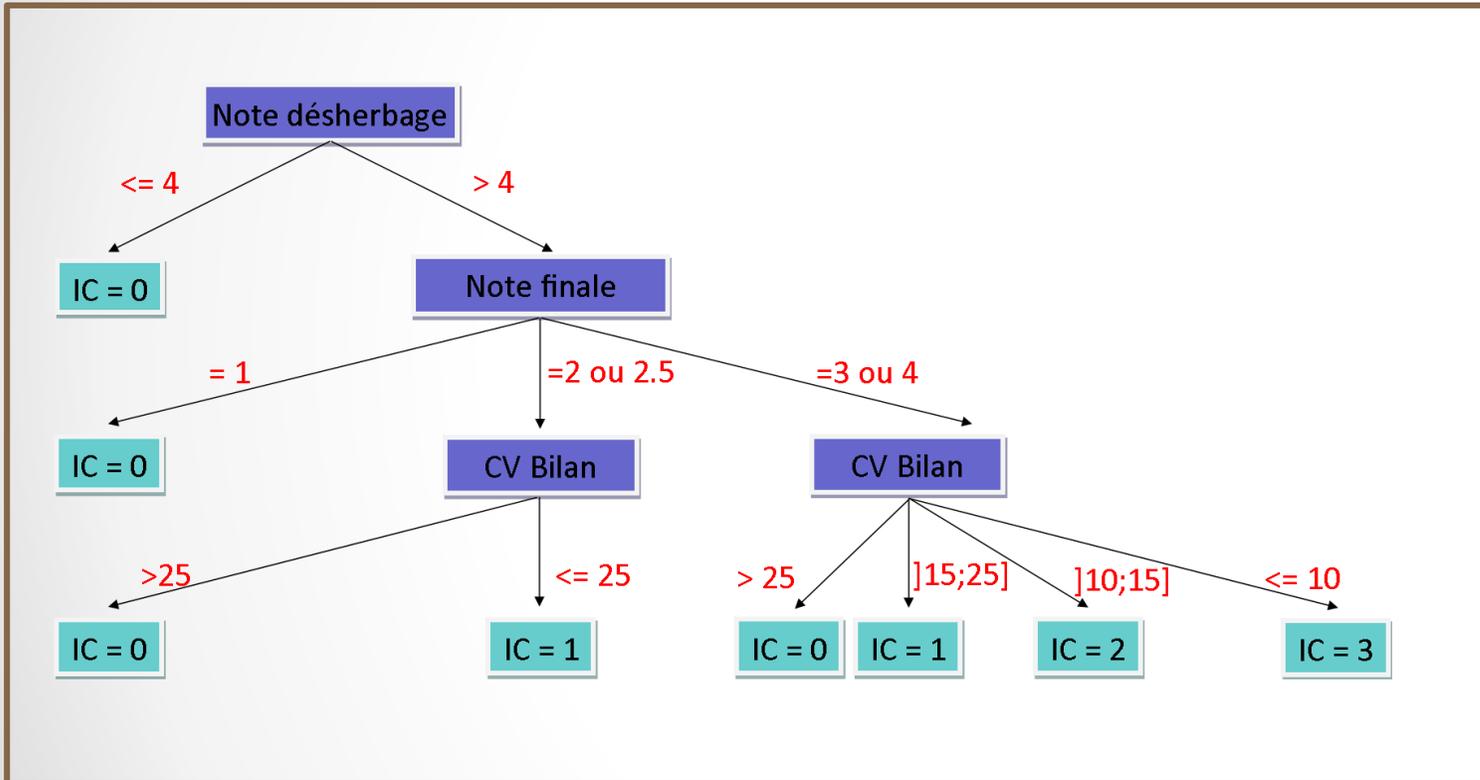
2010-2011 2012 2013 2014

Originalité /point fort de la démarche expérimentale :

- Conçue pour se placer dans les meilleures conditions possibles de mesure de Mh,
- Mesures répétées dans le temps : donnent la possibilité d'évaluer le formalisme $V_p \cdot J_n$

$$M_h = V_p \cdot J_n ?$$

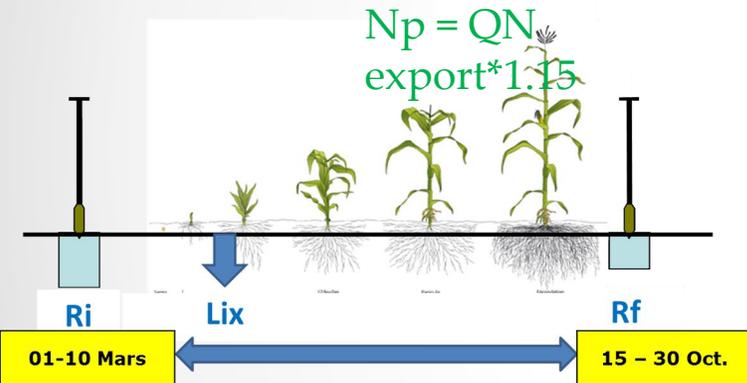
Une qualification rigoureuse des données



Sélection d'un sous-effectif de 65 parcelles pour l'analyse de données

Démarche mise en place dans le projet Mh

Minéralisation N
déterminée par bilan N
($Mh \approx Mn = N_{OUT} - N_{IN}$)



Mh

=

3 déterminants:

Sol, histoire culturelle, climat

Analyses Sol:

- Chimiques
- Physiques
- Indicateurs de minéralisation



Vp

Histoire culturelle: création d'un indicateur à partir de l'historique sur 15 ans (rotations + PRO)

$$I_{\text{Sys}} = I_{\text{Cult}} + I_{\text{PRO}}$$

Jn

Climat: modélisation du temps normalisé à la parcelle avec STICS (climat, propriétés du sol, culture)

X jours
Calendaires
(Jcal)

STICS

Y jours
normalisés
(Jn)

Modélisation

Modèle prédictif complet

Modèle prédictif opérationnel

Démarche mise en place dans le projet Mh

Minéralisation N
déterminée par bilan N
($Mh \approx Mn = N_{OUT} - N_{IN}$)

$$N_p = QN_{\text{export}} * 1.15$$



Mh

=

Vp

.

Jn

3 déterminants:

Sol, histoire culturelle, climat

Analyses Sol:

- Chimiques
- Physiques
- Indicateurs de minéralisation



Histoire culturelle: création d'un indicateur à partir de l'historique sur 15 ans (rotations + PRO)

$$I_{\text{Sys}} = I_{\text{Cult}} + I_{\text{PRO}}$$

Climat: modélisation du temps normalisé à la parcelle avec STICS (climat, propriétés du sol, culture)

X jours
Calendaires
(Jcal)

STICS

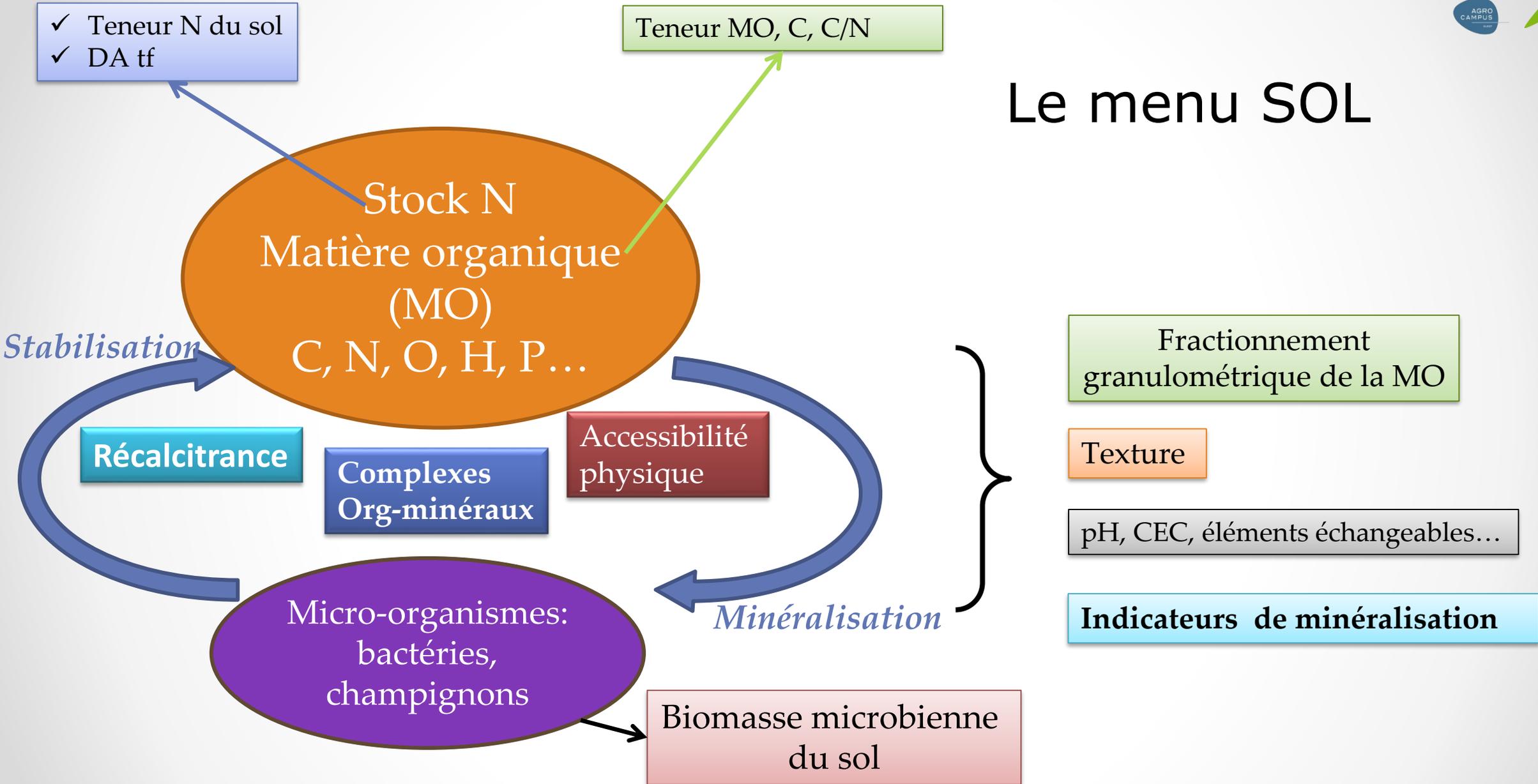
Y jours
normalisés
(Jn)

Modélisation

Modèle prédictif
complet

Modèle prédictif
opérationnel

Le menu SOL



Démarche mise en place dans le projet Mh

Minéralisation N
déterminée par bilan N
($Mh \approx Mn = N_{OUT} - N_{IN}$)

Mh

=

Vp

Jn

3 déterminants:
Sol, histoire culturelle, climat

Analyses Sol:

- Chimiques
- Physiques
- Indicateurs de minéralisation



Histoire culturelle: création d'un indicateur à partir de l'historique sur 15 ans (rotations + PRO)
 $I_{Sys} = I_{Cult} + I_{PRO}$

Climat: modélisation du temps normalisé à la parcelle avec STICS (climat, propriétés du sol, culture)

X jours
Calendaires
(Jcal)

STICS

Y jours
normalisés
(Jn)

Modélisation

Modèle prédictif
complet

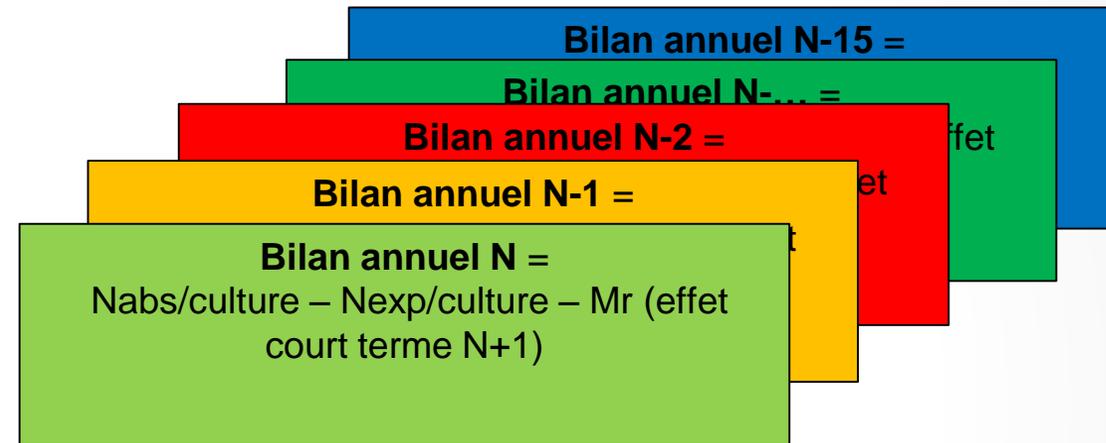
Modèle prédictif
opérationnel

Construction de l'indicateur 'système'

$$I_{\text{Sys}} = I_{\text{Cult}} + I_{\text{PRO}}$$

I_Cult :

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



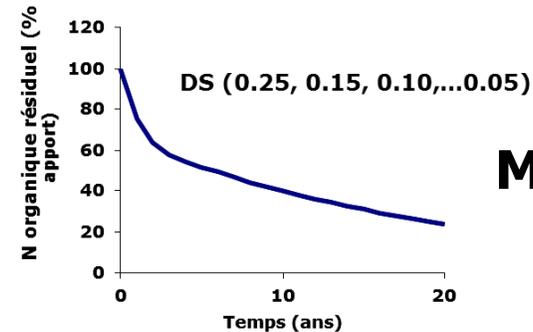
350301	culture	rdt	N abs/Urdt	N exp/UN	Mr résidus	N abs	Nexp	Cipan	Bilan
N-1	Me	10	13	11.5	0	130	115	0	15
N-2	B	67	3	2.2	0	201	147.4	30	84
N-3	Me	9	13	11.5	0	117	103.5	0	14
...	
...	
N-15	Me	11	13	11.5	0	143	126.5	0	17
									46

Indicateur cultures : I_Cult

Construction de l'indicateur 'système

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

Parcelle	350301		Teneur N (g/kg brut)	
	FB	LP	5.5	0
Apports	FB t/ha	LP t/ha	FB kgN/ha	LP kgN/ha
1994	0	0	0	0
1995	30	0	165	0
...
...
...
2005	30	0	165	0
2006	0	0	0	0
2007	30	0	165	0
2008	0	0	0	0
2009	30	0	165	0
2010	0	0	0	0



Modèle DSM

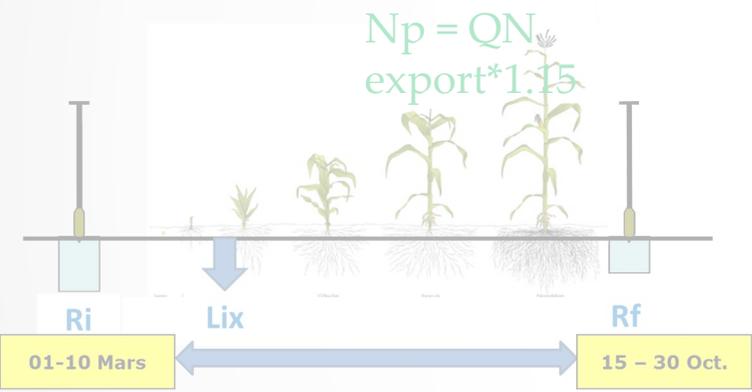
N minéralisé PROs

	FB	LP	Total
2010	40.6	0.0	41
2011	30.2	0.0	30
2012	25.1	0.0	25
2013	23.9	0.0	24
2014	22.9	0.0	23

I_PRO = Moyenne 3 ans 

Démarche mise en place dans le projet Mh

Minéralisation N
déterminée par bilan N
($Mh \approx Mn = N_{OUT} - N_{IN}$)



Mh
=
 Vp
·
 Jn

3 déterminants:
Sol, histoire culturelle, climat

Modélisation

Analyses Sol:

- Chimiques
- Physiques
- Indicateurs de minéralisation



Histoire culturelle: création d'un indicateur à partir de l'historique sur 15 ans (rotations + PRO)

$I_{\text{Sys}} = I_{\text{Cult}} + I_{\text{PRO}}$

Climat: modélisation du temps normalisé à la parcelle avec STICS (climat, propriétés du sol, culture)



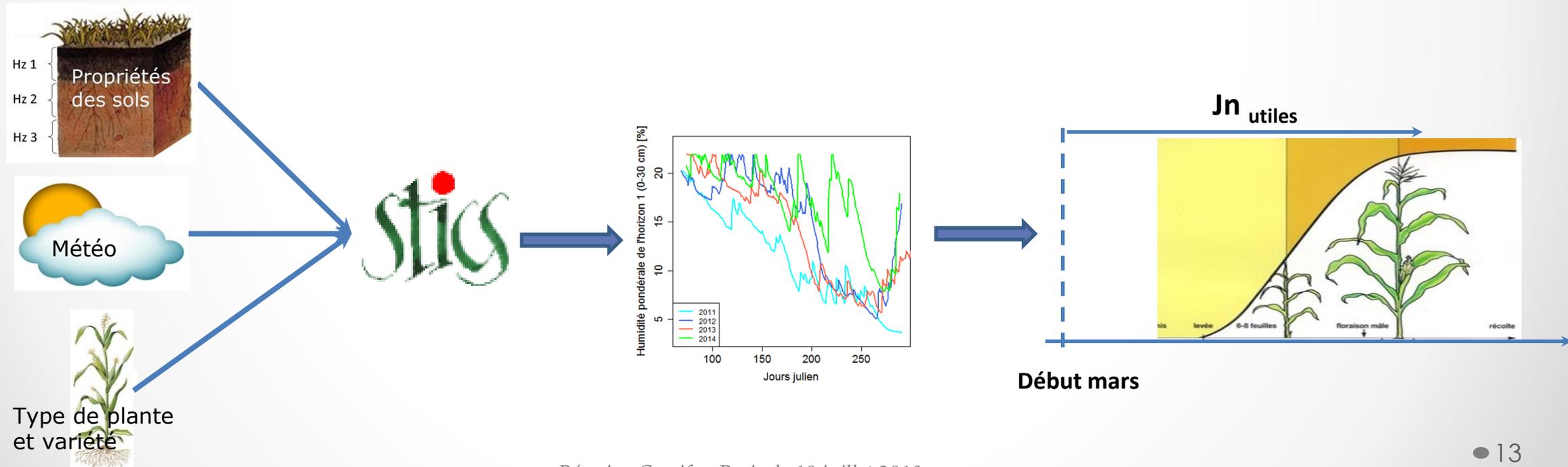
Modèle prédictif complet

Modèle prédictif opérationnel

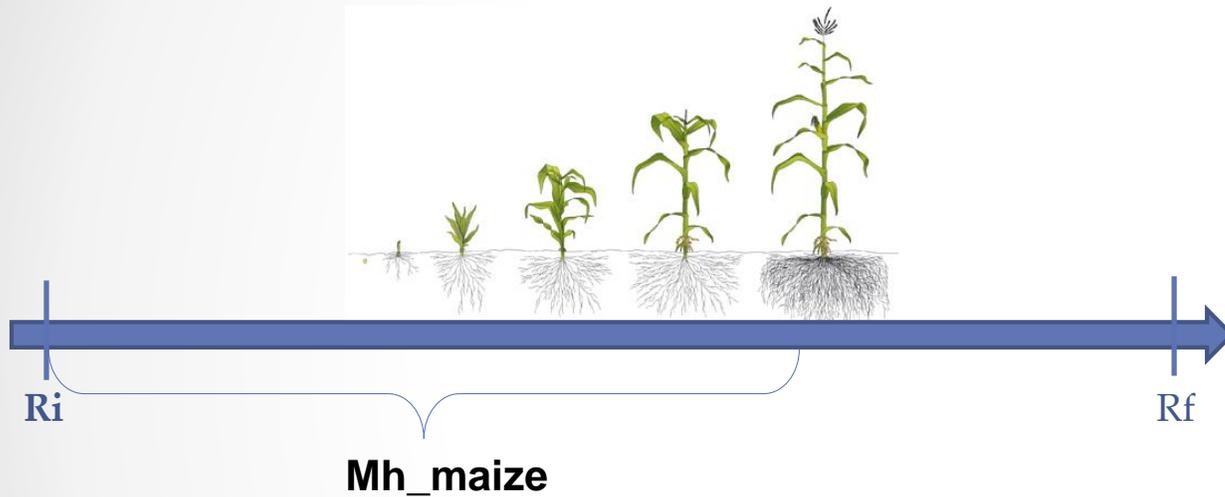


Le temps normalisé : modélisation de l'effet des conditions climatiques sur la minéralisation

- Minéralisation de N dépendante de la température et de l'humidité de l'horizon de surface du sol
- *Le temps normalisé* correspond à une conversion du temps calendaire en un équivalent temps à la température de 15°C et à l'humidité à capacité au champ ($J_n = f(T).g(H)$)
 - Nécessité de prédire l'évolution journalière de Hum et T°C sur la période d'intérêt
 - Calcul par le modèle STICS, renseigné par les données climatiques journalières, les données sol et la culture



Estimation de Mh entre l'ouverture du bilan et la fin de l'absorption de N par le maïs (Mh_maize)



Temps normalisé (Jn_maize) calculé sur la période (1^{er} mars – 10 septembre)

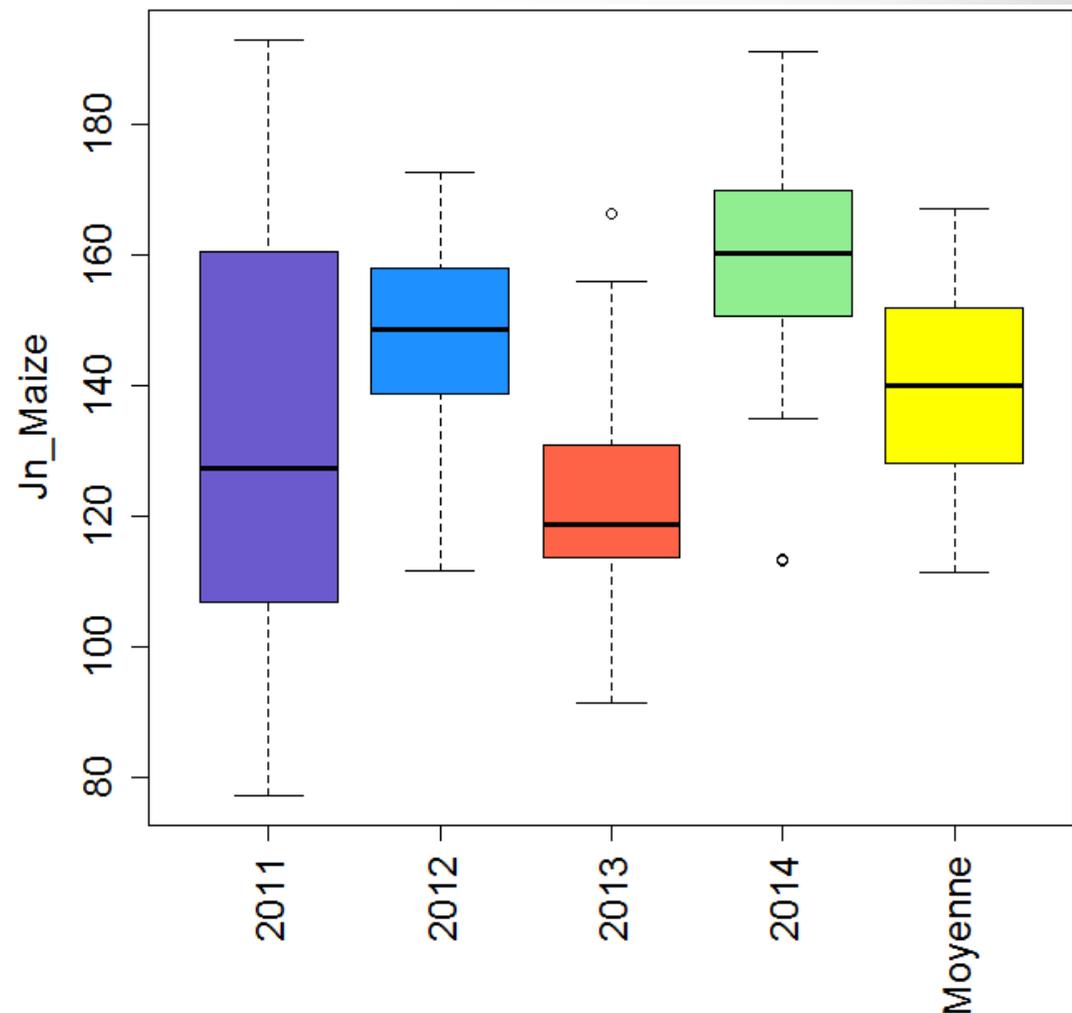
- Bilan [Re ; Rf] = Mh_maize + Mh_p.a
 - Mh_p.a = Rf - Rfa
 - Rfa = reliquat fin absorption
 - H0 : Rfa ≈ 15 kg N-NO₃/ha dans le contexte du réseau Mh :
 - Culture non fertilisée – forte demande en N de la plante, confirmée par les faibles valeurs d'indice de nutrition azotée (INN)
 - Pas de tendance à l'augmentation de Rf sur les parcelles d'INN élevé
 - Faibles valeurs de Rf en 2014 : valeur de 16 kg N/ha pour le 1^{er} décile, moyenne de 31 kg N/ha

Résultats

...

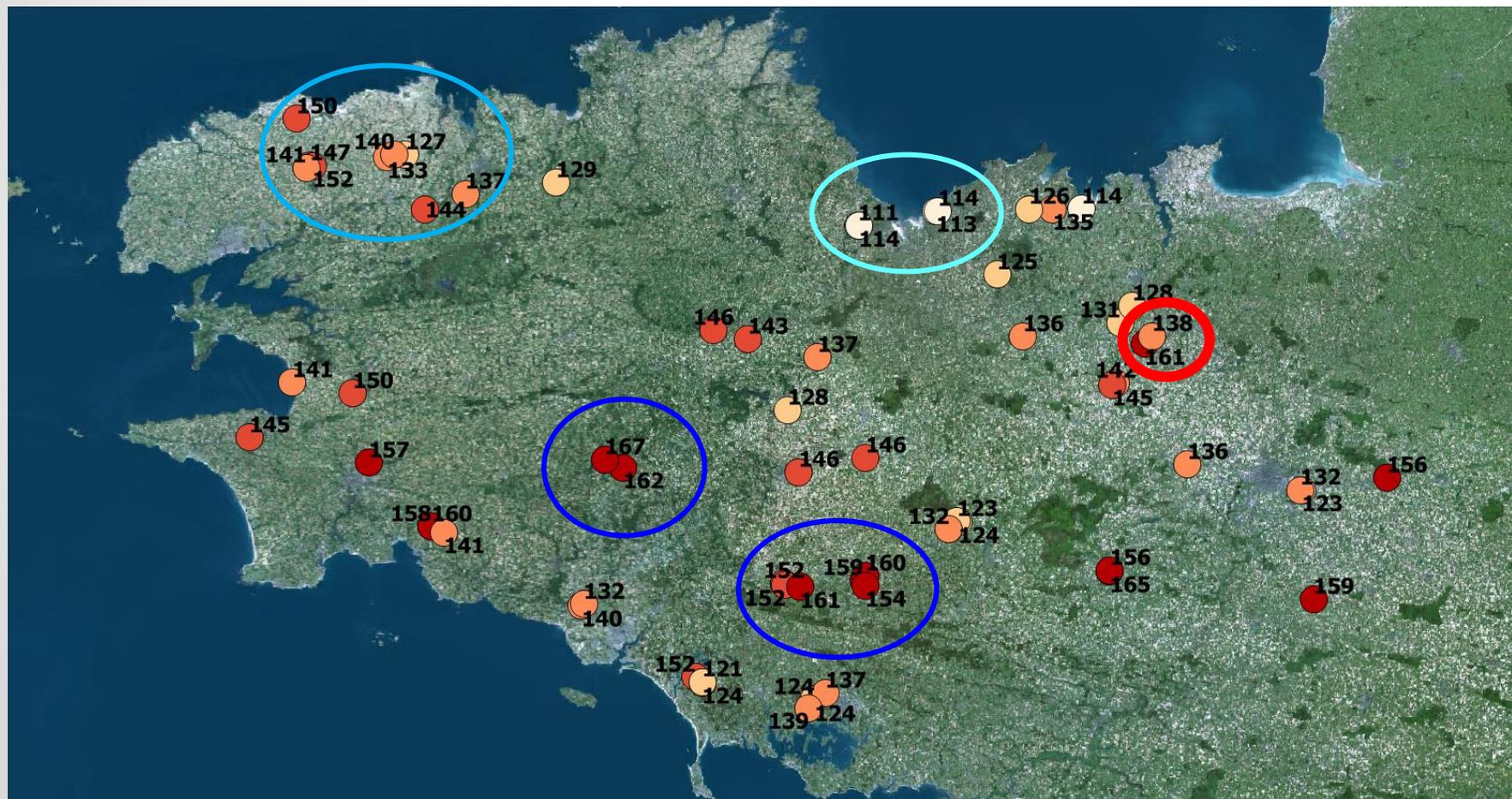
Jn Maize

- Jn_Maize 2014 > 2012 > 2013
- Variabilité \approx pour les 3 dernières années
- Jn_Maize 2011 très variable car
 - conditions météorologiques locales différentes
 - stress hydriques différents car sol différent d'une parcelle à l'autre
- Moyenne :
 - variabilité entre parcelles similaire à celle observée en 2012, 2013 et 2014
 - moyenne = 140 Jn_Maize



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

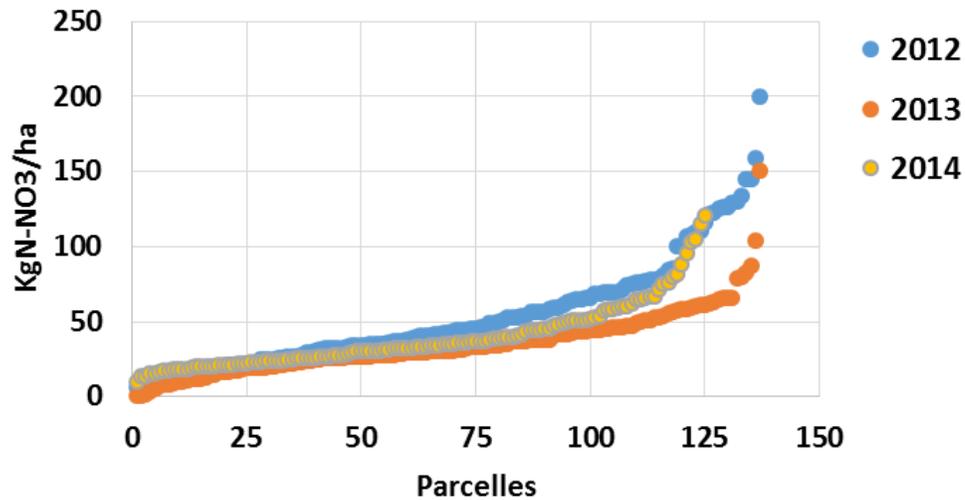
La composante sol des Bilans Mh

$$\text{Bilan Mh} = (\text{Rf} - \text{Ri}) + \text{Lix} + (\text{QN export} * 1.15)$$

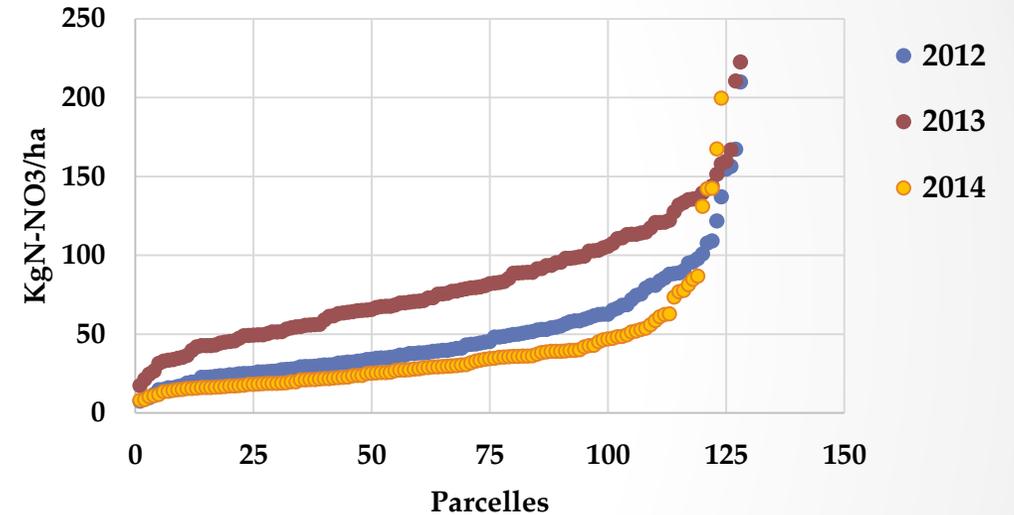


$$\text{Bilan Mh} = (\text{Rf} - \text{Ri}) + \text{Lix} + (\text{QN export} * 1.15)$$

Ri - Réseau Mh - 3 ans



Rf - Réseau Mh - 3 ans



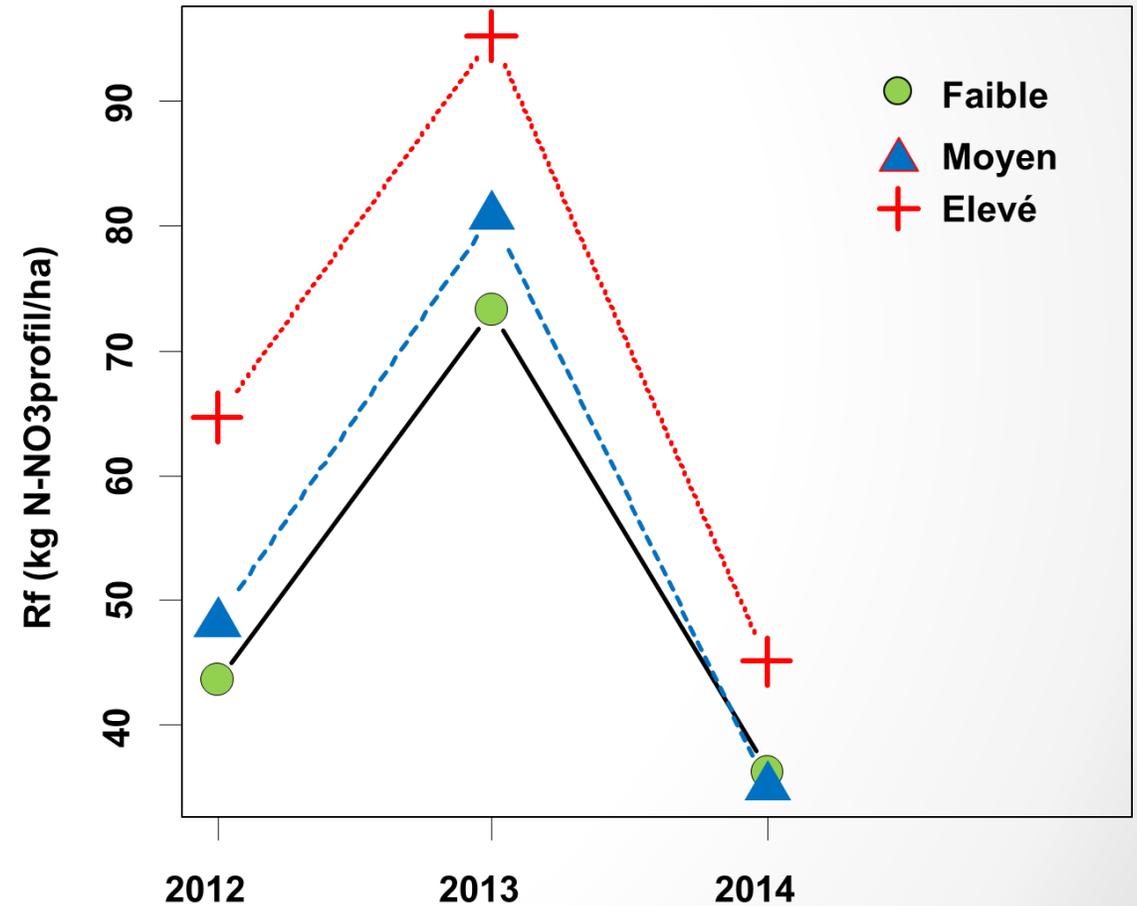
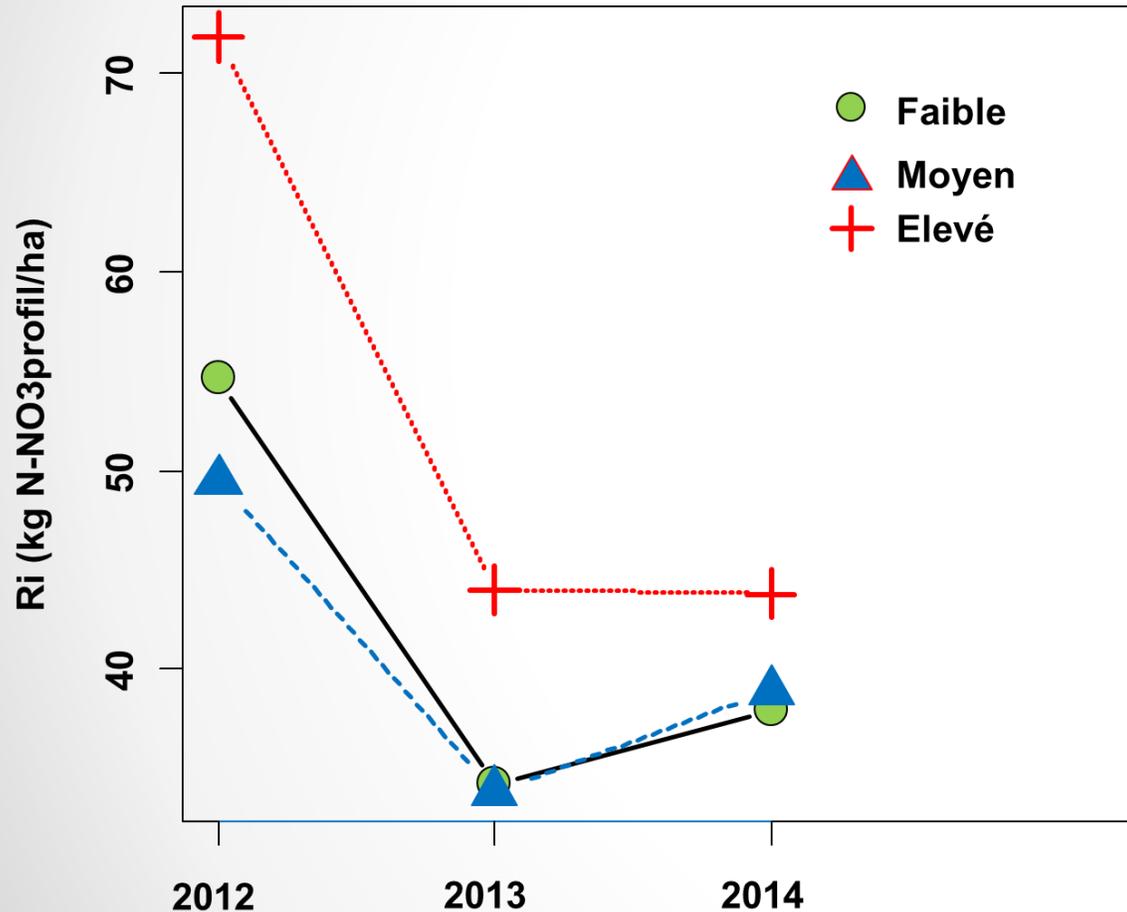
Année	Ri.Moy.	Ri SD	Q10	Q90
2014	39	21.6	19	66
2013	35	21.1	12	61
2012	53	36.2	18	109

Année	Rf.Moy.	Rf SD	Q10	Q90
2014	37	31.8	16	62
2013	81	34.7	42	132
2012	50	42.9	22	89

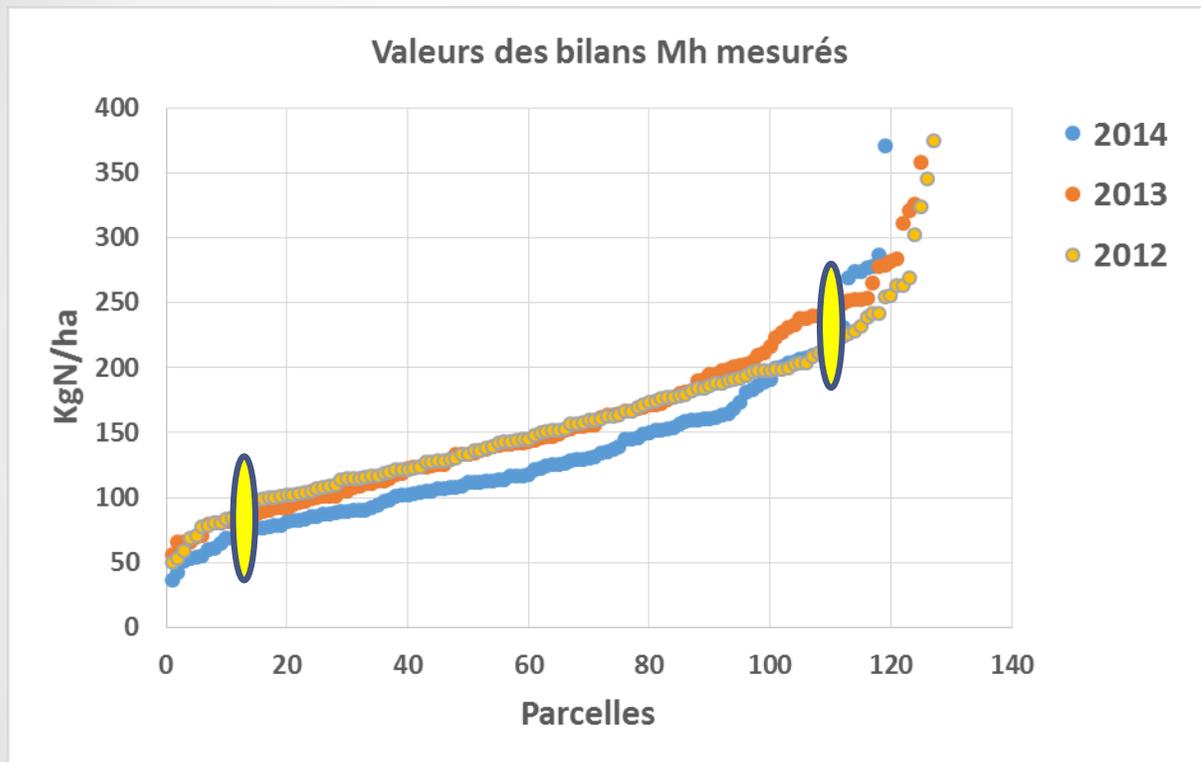
- Les reliquats fin du réseau Mh témoignent d'une minéralisation d'automne importante des sols de Bretagne

L'effet système sur la composante sol des bilans

- L'analyse des reliquats entrée et fin des parcelles de classe I_Sys Elevé fait ressortir des flux de minéralisation significativement supérieurs aux 2 autres classes



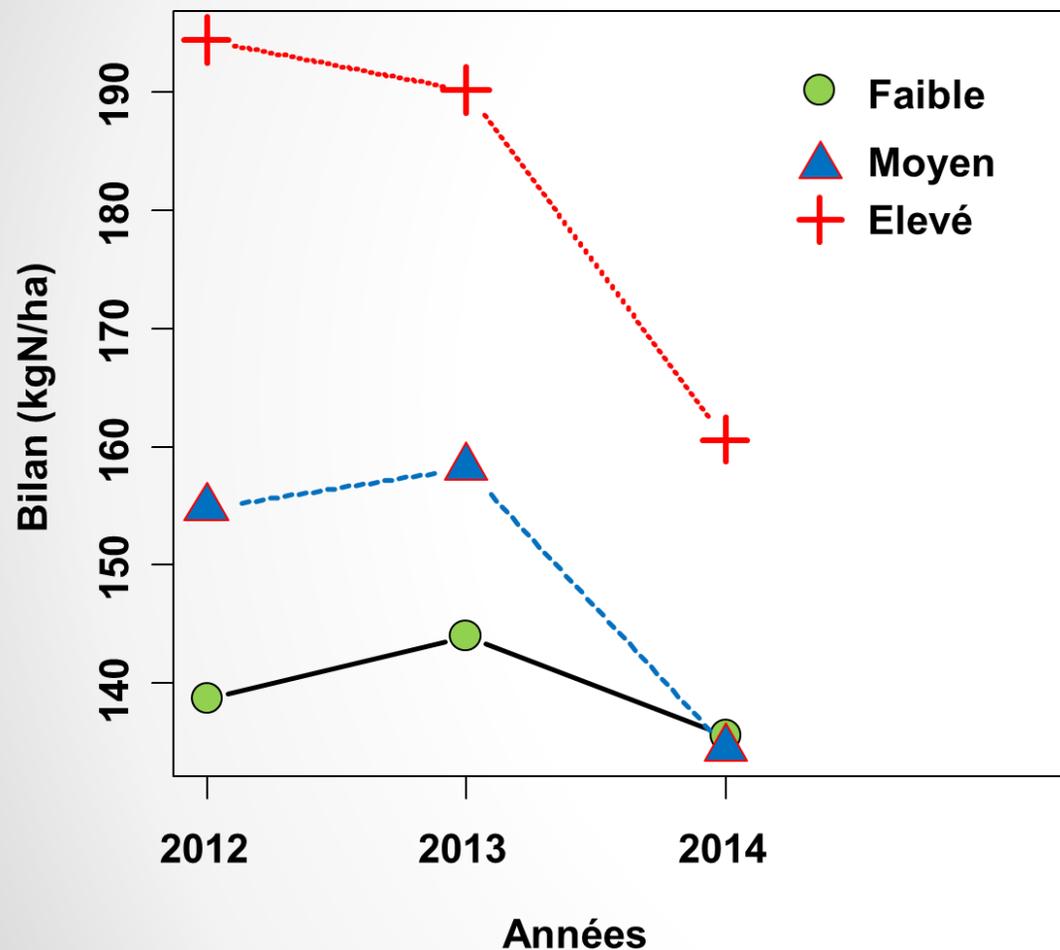
Gamme de variation des bilans Mh mesurés



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.

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