

Apprendre à cultiver les services



Dites MERCI à vos couverts végétaux !



Ce diaporama est mis à disposition gratuitement auprès des conseillers agricoles et animateurs des Chambres d'Agriculture pour présenter et comprendre la méthode MERCI : *formalismes, principes de calculs, domaine de validité, utilisations de la plateforme, interprétations des résultats.*

Il comporte 189 diapositives et est diffusé en « mode diaporama » permettant à chacun de le réutiliser et de l'adapter au public visé :

- Diaporama « conseillers »

 - ☞ *complet avec beaucoup d'explications sur les formalismes et méthodes de calculs*

- Diaporama « agriculteurs »

 - ☞ *simplification en masquant des diapositives*

Vous pouvez personnaliser ce diaporama avec vos essais et données locales.

Pour toutes suggestions, améliorations, questions, n'hésitez pas à contacter Sébastien MINETTE (CRA Nouvelle Aquitaine) : sebastien.minette@na.chambagri.fr

Favoriser l'activité biologique du sol

Augmentation de l'albédo du sol

Limiter les excès de température

Limitation érosion et battance

Meilleure infiltration de l'eau

➤ Matière organique

Stockage du Carbone

Structuration du sol

Réduction des fuites de nitrates

Limitation du transfert de phytos



Limiter les **POLLUTIONS**



Améliorer le **SOL**

Soutenir la **PRODUCTION**



Valorisation fourragère (pâture, fauche) => dérobées

Restitution d'éléments fertilisants (N, P, K, S, Mg, Ca) => ENGRAIS VERT

Valorisation énergétique (CIVE)

Possibilité d'une récolte en grains



Les couverts,
à quoi
ça sert...!



Participer à la **RÉGULATION**

des bio-agresseurs

Régulation des adventices

Régulation des ravageurs

Régulation des maladies

Favoriser la **BIODIVERSITÉ**



Auxiliaires de culture

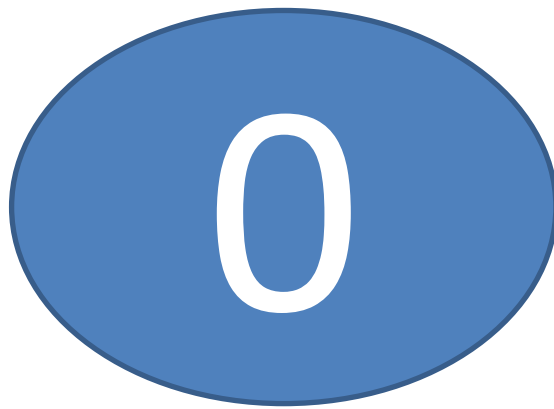
Faune sauvage

Paysage diversifié

Impact sociétal et visuel

8 chapitres

- ➡ Introduction *(4 diapos)*
- ➡ C'est quoi la méthode MERCI *(8 diapos)*
- ➡ Formalismes et modalités de calculs *(79 diapos)*
- ➡ Mise en œuvre au champ & Utilisations de la plateforme internet *(42 diapos)*
- ➡ Exemples de calculs MERCI *(3 diapos)*
- ➡ Domaine de validité de la méthode *(10 diapos)*
- ➡ Estimation rapide de la biomasse au champ *(8 diapos)*
- ➡ Robustesse de la méthode MERCI – Exemple de prise en compte des restitutions rapides en azote à la culture suivante *(19 diapos)*
- ➡ Données / Références issues de la base de données des calculs MERCI *(10 diapos)*
- ➡ Conclusions *(6 diapos)*



A quoi sert la méthode MERCI ?



Les couverts immobilisent de nombreux éléments dans leurs parties aériennes et racinaires



Azote **Soufre**
Phosphore
Potasse **Calcium**
Magnésium
Fer
Manganèse
...



- Comment estimer ces restitutions ? (service écosystémique d'« appui à la production »)
- Comment adapter ces pratiques de fertilisation ?

Couverts Végétaux, pourquoi ?

Les couverts :

- **Stockent**
- **Après destruction, restituent à plus ou moins long terme les éléments minéraux**

=> effet « comparable » aux effluents organiques

=> Rien ne se « perd », tout est stocké dans le sol



Restitutions rapides (2 à 12 mois)

- Potasse, Phosphore, soufre
- Magnésium, Calcium
- Azote si C/N faible

Restitutions à moyen terme 2 à 10 ans

- Azote si C/N fort

- **Selon service recherché avec le couvert, il peut être intéressant d'avoir des couverts :**

- qui se dégradent vite = « fournir rapidement de l'azote »

ou

- qui permettent de fabriquer de la MO « humus relativement stable » ou réaliser un paillage

Et ce couvert

- Quelle biomasse produite ?
- Quelles restitutions à la culture suivante ?
- Comment adapter ses pratiques de fertilisation ?



Concrètement, MERCI permet d'estimer :

- ☞ Montrer l'intérêt des couverts végétaux et estimer des services rendus
- ☞ La biomasse aérienne sèche produite et l'azote stocké dans le couvert végétal
- ☞ Les restitutions rapides en azote au sol pour adapter la fertilisation de la culture suivante
- ☞ La remobilisation et mise à disposition des éléments minéraux : potasse, phosphore, magnésium et soufre
- ☞ La contribution du couvert végétal au stockage de carbone et de matière organique dans le sol
- ☞ Une valeur fourragère du couvert à titre indicative permettant éventuellement un dialogue entre partenaires



**Estimation biomasse
produite au champ**
(matière verte / hectare)

**Utilisation de l'appli
et des abaques
de la méthode MERCI**



RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT

Matière sèche aérienne t/ha Azote piégé total (Aérien + Racinaire) g/ha

RESTITUTION DU COUVERT AU SOL

Azote (N) g/ha Informations sur la dynamique de minéralisation
 0 kg A 30 jours 0 kg A 60 jours 0 kg A 90 jours 0 kg A 120 jours 0 kg A 150 jours 0 kg A 180 jours

Phosphore (P₂O₅) g/ha Potassium (K₂O) g/ha Soufre (S) g/ha Magnésium (MgO) g/ha

VALORISATION DU COUVERT EN DÉROBÉE

Valeurs fourragères - Alimentation animaux

UFL MAT g/kg ou kg/t

Méthanisation

Rendement en énergie (Nm³ de CH₄ / ha)

CONTRIBUTION AU STOCKAGE DE CARBONE DANS LE SOL

Carbone stable t/ha Evolution Matière Organique t/ha

www.methode-merci.fr

Méthode

- ☞ simple, opérationnelle
- ☞ Valable pour de nombreuses espèces
- ☞ gratuite
- ☞ destinataires : agriculteurs et conseillers

Estimations des éléments restitués :
Azote, phosphore, potasse, soufre, magnésium

Carbone, valeurs alimentaires du couvert, ...



**Conseils en fertilisation
et fumure**

Agriculteur (86)

Semis direct sur chaumes : 15 juillet 2023

Sol : limon-argileux moyennement profond



Espèces

Avoine strigosa

Sorgho fourrager

Millet

Vesce commune

phacélie

Adventices dicots

Tournesol

Radis fourrager

Au 5/10/2023

Couvert

- 2,55 t MS/ha

- 70 N piégé dans couvert

Restitutions rapides d'éléments fertilisants

- N : 17 U/ha

- P2O5 : 15

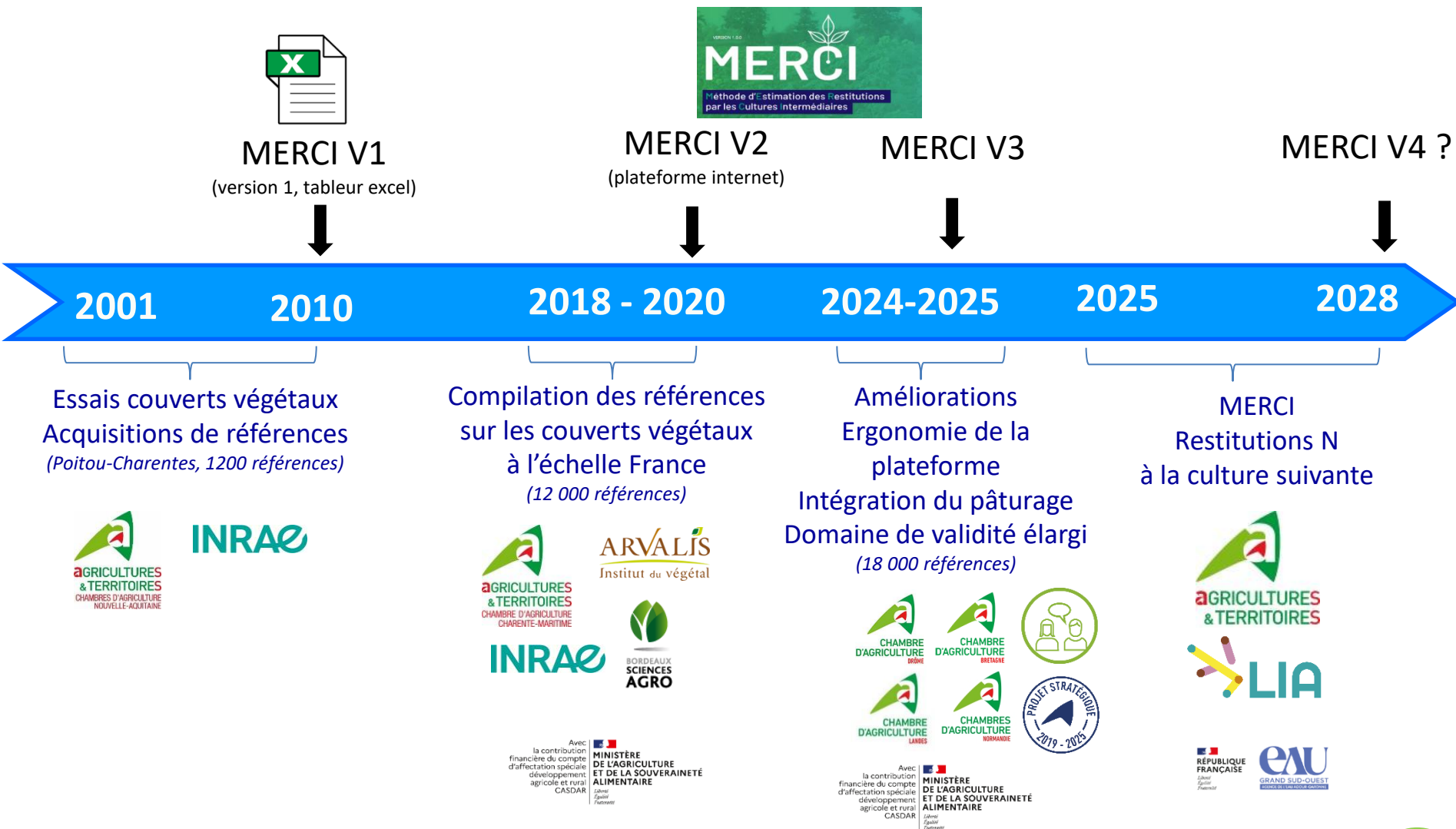
- K2O : 105

Carbone stocké dans sol

(provenant du couvert)

- 0,4 tonnes / ha

Historique de la méthode – Une construction collaborative



1

Formalismes, modalités de calculs

« Ce que l'on conçoit bien s'énonce clairement, et les mots pour le dire arrivent aisément. »

(Nicolas Boileau)

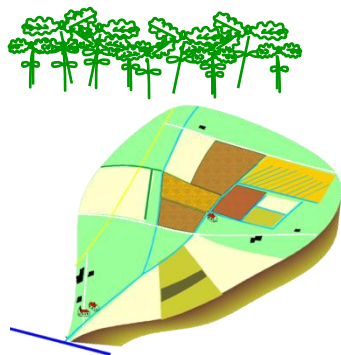


Téléchargez la notice
<https://methode-merci.fr/bibliotheque>

**Une collaboration forte entre le développement
et la recherche, intégrant les dernières références scientifiques et techniques !**

Données au champs

Références « réelles »



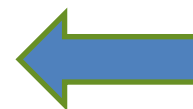
MERCI



- Références
- Paramétrages MERCI version 2020

SIMULATIONS

Références « virtuelles »



**Chambre Régionale
Nouvelle Aquitaine**

INRAe

(Recherche)

**Arvalis, Chambres d'Agriculture,
Organismes Economiques, INRAE, ...**

(Développement)



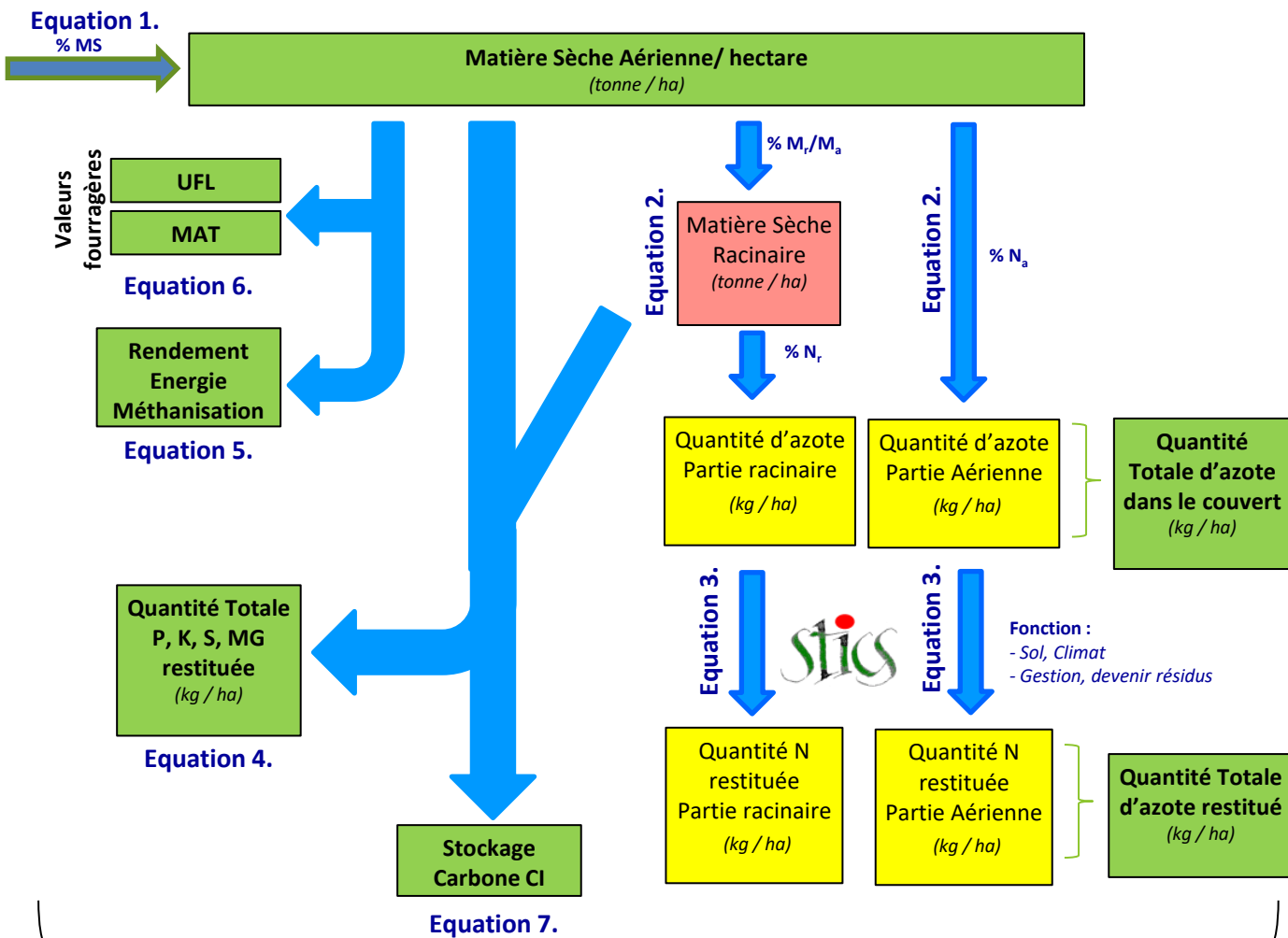
Estimation biomasse produite au champ (matière verte / hectare)



+ données « contextuelles »
renseignées par utilisateur

- Code postal
- Réserve Utile du sol / type de sol
- Surface occupée par le couvert
- Devenir du couvert
- Gestion des résidus
- Date de levée du couvert
- Date de la mesure

- En vert : résultats



Conseils



Constitution de la base de données « terrain » (références réelles) pour le paramétrage de la méthode MERCI



- Contribution volontaire de nombreux partenaires pour la constitution de la base de données de paramétrage
- Partenaires sont répartis sur toute la France dans les principales régions de grandes cultures + Belgique, Suisse

Retrouvez l'ensemble des contributeurs : <https://methode-merci.fr/partenaires>

- Centralisation des données à la Chambre Régionale d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine (CRANA)

☞ Constitution de la base de données pour le paramétrage de la méthode MERCI

☞ Analyse des données et élaboration des valeurs de références par espèces



Compilation de données de 1983 à 2024
18 000 références « terrain »

Paramétrage : quelles sont les références élaborées

- Paramétrage pour chacune des espèces :
 - *partie aérienne*
 - *partie racinaire*
- Paramètres calculés :
 - *teneur en matière sèche (%MS)*
 - *teneur en azote (%N)*
 - *ratio MS racinaire / MS aérienne*
 - *teneur en phosphore, potassium, soufre, magnésium*
 - *teneur en carbone*
 - *valeur UFL*

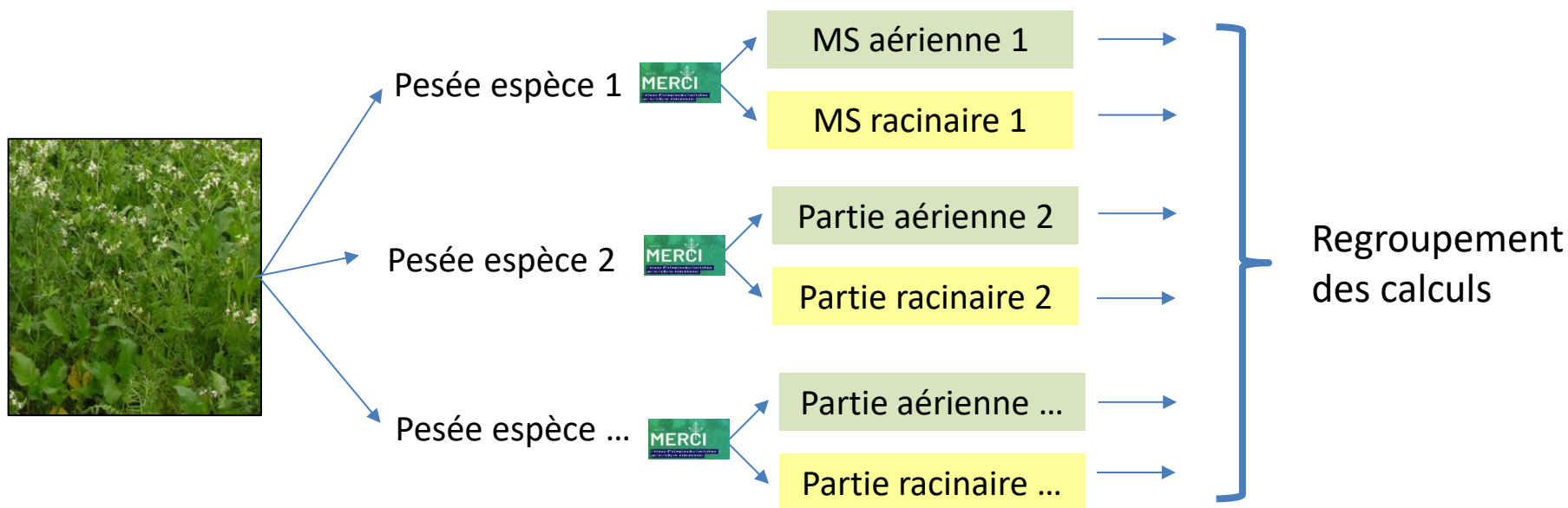
Espece_MERCI	Famille	% Matière Sèche (MS)						Ratio MSr/MSa	Teneur en azote (%)								Teneur P			Teneur K			Teneur Mg			Teneur S			UFL	Pouvoir métha	%C aerien	%C racines
		< 60 j	60-90 j	90 < < 120 j	120 < < 180 j	180 < < 240 j	> 240 j		%Np < 1 t/ha	1< %Np < 2 t/ha	2< %Np < 3 t/ha	3 < %Np < 4 t/ha	4 < %Np < 5 t/ha	5 < %Np < 6 t/ha	%Np > 6 t/ha	%N racines	%P aerien	%P racines	P dispo (%)	%K aerien	%K racines	K dispo (%)	%Mg aerien	%Mg racines	Mg dispo (%)	%S aerien	%S racines	S dispo (%)				
Avoine rude	poacée	17	18	18	18	25	25	0,28	2,6	2,3	2,2	1,7	1,6	1,5	1,4	0,8	0,44	0,15	70	2,9	1,2	100	0,12	0,1	100	0,23	0,15	50	0,90	270	43,7	30,9
Féverole	Fabacée	10	13	16	16	17	17	0,20	4	3,8	3,6	3,6	3,2	3	2,8	2	0,34	0,20	70	2,1	2,1	100	0,2	0,1	100	0,2	0,15	50	0,90	270	44,0	37,0
Moutarde blanche	brassicacée	15	17	17	20	25	35	0,20	3,2	2,8	2,6	2,4	2,2	2,2	2,1	1	0,25	0,18	70	2,7	1,5	100	0,15	0,1	100	0,53	0,4	50	0,80	270	42,9	42,0

Extrait de la base de données de paramétrage de la méthode

- Le paramétrage d'une nouvelle espèce nécessite un nombre important de mesures pour calcul d'une valeur médiane (*a minima 7 mesures*)

Pourquoi trier et séparer les espèces ?

- Paramétrage pour chacune des espèces :
 - *partie aérienne* (% MS, %N, %P, %K, %Mg, %S, % carbone)
 - *partie racinaire* (ratio MSr/Msa, %N, %P, %K, %Mg, %S, % carbone)
- Calculs réalisés individuellement puis somme des résultats



Paramétrage : quelles sont les références élaborées

- Teneur en matière sèche (% MS) : 7 valeurs définies par espèce

Espece_MERCI	Famille	% Matière Sèche (MS)					
		< 60 j	60-90 j	90 < < 120 j	120 < < 180 j	180 < < 240 j	> 240 j
Avoine rude	poacée	17	18	18	18	25	25
Féverole	Fabacée	10	13	16	16	17	17
Moutarde blanche	brassicacée	15	17	17	20	25	35

% MS selon la durée de présence du couvert

☞ *Durée de présence = « Date de la mesure - Date de levée/Semis »*

Hypothèse

☞ % de matière sèche augmente avec « l'âge du couvert »

Paramétrage : quelles sont les références élaborées

- Estimation de la biomasse racinaire

Espece_MERCI	Famille	% Matière Sèche (MS)						Ratio MSr/MSa
		< 60 j	60-90 j	90 < < 120 j	120 < < 180 j	180 < < 240 j	> 240 j	
Avoine rude	poacée	17	18	18	18	25	25	0,28
Féverole	Fabacée	10	13	16	16	17	17	0,20
Moutarde blanche	brassicacée	15	17	17	20	25	35	0,20

Estimation de la biomasse racinaire
et prise en compte dans les calculs

En moyenne : ~25 % de la biomasse
aérienne, mais teneurs en éléments
différentes

Ratio :

Matière racinaire

Matière sèche aérienne



Paramétrage : quelles sont les références élaborées

- Teneurs en azote (%N) : 6 valeurs élaborées pour la biomasse aérienne

Espece_MERCI	Teneur en azote (%)								Teneur P			Teneur K			Teneur Mg		
	%Np < 1 t/ha	1 < %Np < 2 t/ha	2 < %Np < 3 t/ha	3 < %Np < 4 t/ha	4 < %Np < 5 t/ha	5 < %Np < 6 t/ha	%Np > 6 t/ha	%N racines	%P aerien	%P racines	P dispo (%)	%K aerien	%K racines	K dispo (%)	%Mg aerien	%Mg racines	Mg dispo (%)
Avoine rude	2,6	2,3	2,2	1,7	1,6	1,5	1,4	0,8	0,44	0,15	70	2,9	1,2	100	0,12	0,1	100
Féverole	4	3,8	3,6	3,6	3,2	3	2,8	2	0,34	0,20	70	2,1	2,1	100	0,2	0,1	100
Moutarde blanche	3,2	2,8	2,6	2,4	2,2	2,2	2,1	1	0,25	0,18	70	2,7	1,5	100	0,15	0,1	100

% N aérien et racinaire

Teneur pour les autres éléments
aérien/racinaire

Hypothèses

- % d'azote des parties aériennes diminue dans le couvert en fonction de la biomasse aérienne produite
- dilution de l'azote selon la biomasse aérienne (*diminution de la teneur en azote*)

☞ Azote (N), Phosphore (P), Potassium (K), Soufre (S), Magnésium (Mg) : **données issues d'analyses de laboratoire** et exprimées, pour une espèce, en éléments P, K, S, Mg en %.

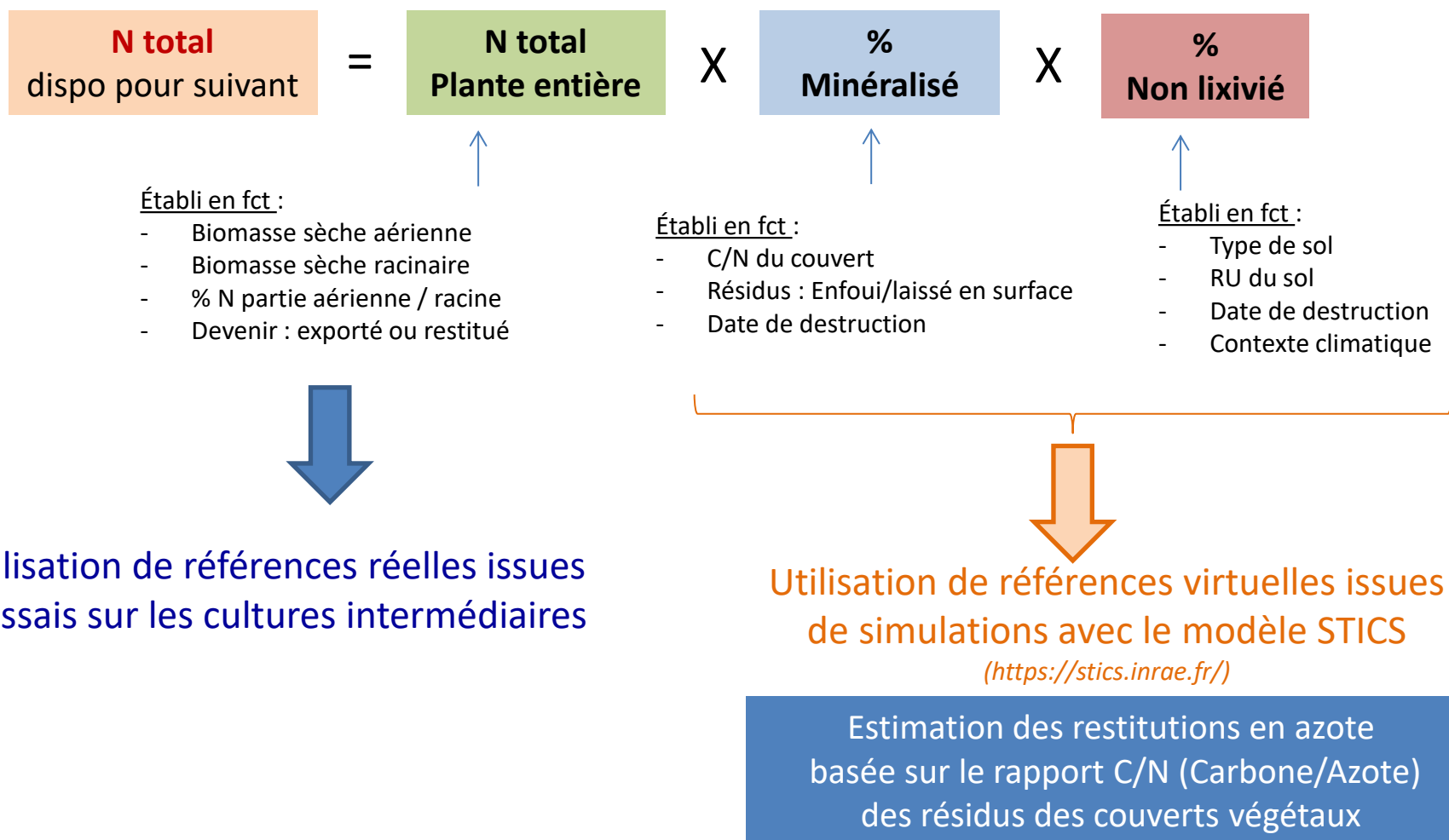


Formalismes, modalités de calculs

AZOTE

*Minéralisation des résidus de couverts végétaux
& prise en compte du contexte pédoclimatique*

Formalismes – Modalités de calculs des restitutions rapides en AZOTE



Formalismes – Modalités de calculs des restitutions rapides en AZOTE

Calcul de la quantité totale d'azote contenue dans le couvert

Pour la partie aérienne

Quantité azote partie aérienne = $MS_a \times \% N_{aérienne} \times 10$ (kg/ha)

Paramètres

- **MSa** : Matière Sèche aérienne calculée dans équation 1.
- **% N_{partie aérienne}** : teneur N de chaque espèce sélectionnée en fonction de la MS_{aérienne} totale du couvert

Pour la partie racinaire

Quantité azote P. racinaire = $MSa \times \text{ratio } MS_{rac} / MS_{aér} \times \% N_{racinaire} \times 10$

Paramètres

- coefficient racinaire = pourcentage de la biomasse sèche aérienne
- **% N_{partie racinaire}** : teneur en azote des racines de chaque espèce sélectionnée par utilisateur

Formalismes – Modalités de calculs des restitutions rapides en AZOTE

Calcul de la quantité totale d'azote restituée rapidement au sol

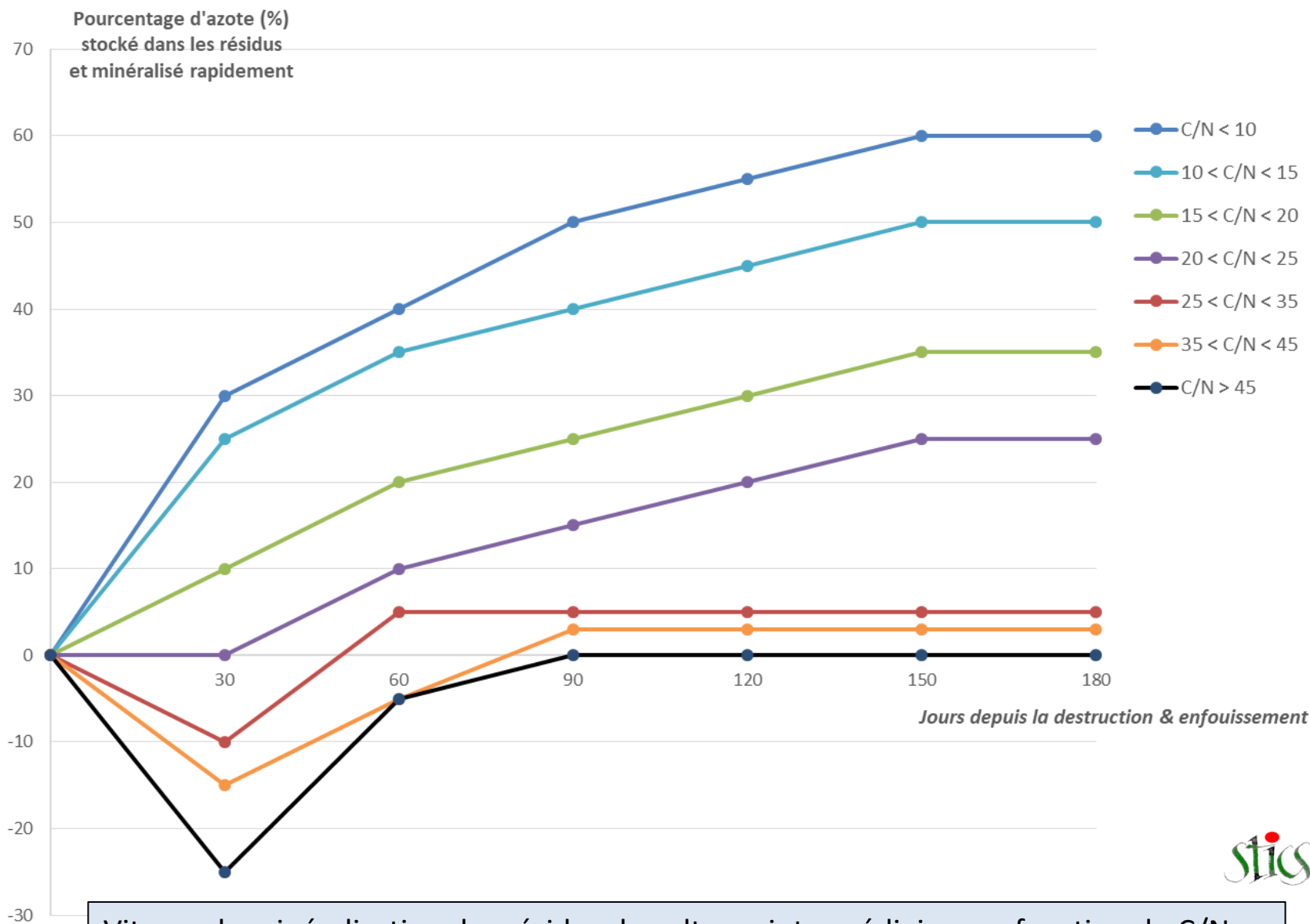
Pour la partie aérienne

$N_{\text{aérien}} \text{dispo} = QNa \times DEV \times \text{Valeur de minéralisation en fonction du C/N (\%)} \times \% \text{ non lixivié}$

Paramètres

- QNa : Quantité d'azote contenue dans les parties aériennes (kg/ha)
- DEV : « Devenir du couvert végétal » : si « exporté », alors DEV = 20 % ; si « restitué », alors DEV = 100 %
- Valeur de minéralisation en fonction C/N : coefficient de minéralisation des résidus établi, par simulation STICS (*modèle INRAE*), pour différentes valeurs de C/N du couvert (*rapport Carbone/Azote*). Le % de carbone est individualisé pour chacune des espèces pour les parties aériennes et racinaires.
- % non lixivié : quantité d'azote non lixiviée par rapport à la quantité totale reminéralisée suite à destruction du couvert selon le contexte pédoclimatique choisi par utilisateur en renseignant le code postal et le type de sol





Vitesse de minéralisation des résidus de cultures intermédiaires en fonction du C/N

Formalismes – Modalités de calculs des restitutions rapides en AZOTE

Calcul de la quantité totale d'azote restituée rapidement au sol

Pour la partie racinaire (R2)

$N_{\text{racine}}^{\text{dispo}} = QNr \times DEV \times \text{Valeur de minéralisation en fonction du C/N (\%)} \times \% \text{ non lixivié}$

Paramètres

- DEV : « Devenir du couvert végétal » = 100 % car toute la biomasse racinaire est « restitué »
- Valeur de minéralisation en fonction C/N : coefficient de minéralisation des résidus établi, par simulation STICS, pour différentes valeurs de C/N (rapport Carbone/Azote du couvert)



Prise en compte du positionnement des résidus du couvert

Gestion des résidus

☒ Enfouis
 ☐ Laissés en surface

- **Enfouis** : « Résidus broyés, enfouis sur 0-15 cm »

- **Laissés en surface** : « Résidus broyés, laissés sur le sol »

La minéralisation des résidus dépend :

- organismes du sol (bactéries, champignons, μ -organismes, ...)
- humidité et températures suffisantes

Processus
principalement
« aérobie »

Résidus à C/N élevé (> 40)

☞ L'enfouissement favorise la ré-organisation de l'azote donc diminution de la disponibilité en azote pour la culture suivante

Résidus à C/N faible (< 15)

☞ L'enfouissement défavorise la minéralisation de l'azote

☞ Libération d'azote **légèrement augmentée** (+5 %) si résidus maintenus en surface



Acquisition de « références virtuelles » par utilisation de la simulation pour le paramétrage de la méthode MERCI



<https://stics.inrae.fr/>

- ➡ Utilisation de la modélisation pour l'estimation des restitutions rapides d'azote à la culture suivante
- ➡ Prise en compte d'un contexte climatique médian et de différents types de sol

Formalismes – Modalités de calculs des restitutions rapides en AZOTE

Principe : simulations réalisées

Afin d'apprécier la diversité des pratiques agricoles et de composition des cultures intermédiaires (CI), des simulations ont été réalisées pour :

- **9 dates** de destruction des CI : « 15 du mois » (15/09 ; 15/10 ; 15/11 ; 15/12 ; 15/01 ; 15/02 ; 15/03 ; 15/04 ; 15/05)
- **7 valeurs** de C/N (carbone/azote) des résidus de CI de **7,5 à 50** (7,5 ; 12,5 ; 17,5 ; 22,5 ; 30 ; 40 ; 50)
- **2 devenir** des résidus :
 ☞ « laissés en surface » (broyés et laissés en surface)
ou ☞ « enfouis » (enfouis sur 0-15 cm)
- **3 biomasses simulées à destruction** : 2 ; 4 tonnes de MS/ha ou 8 tonnes de MS/ha

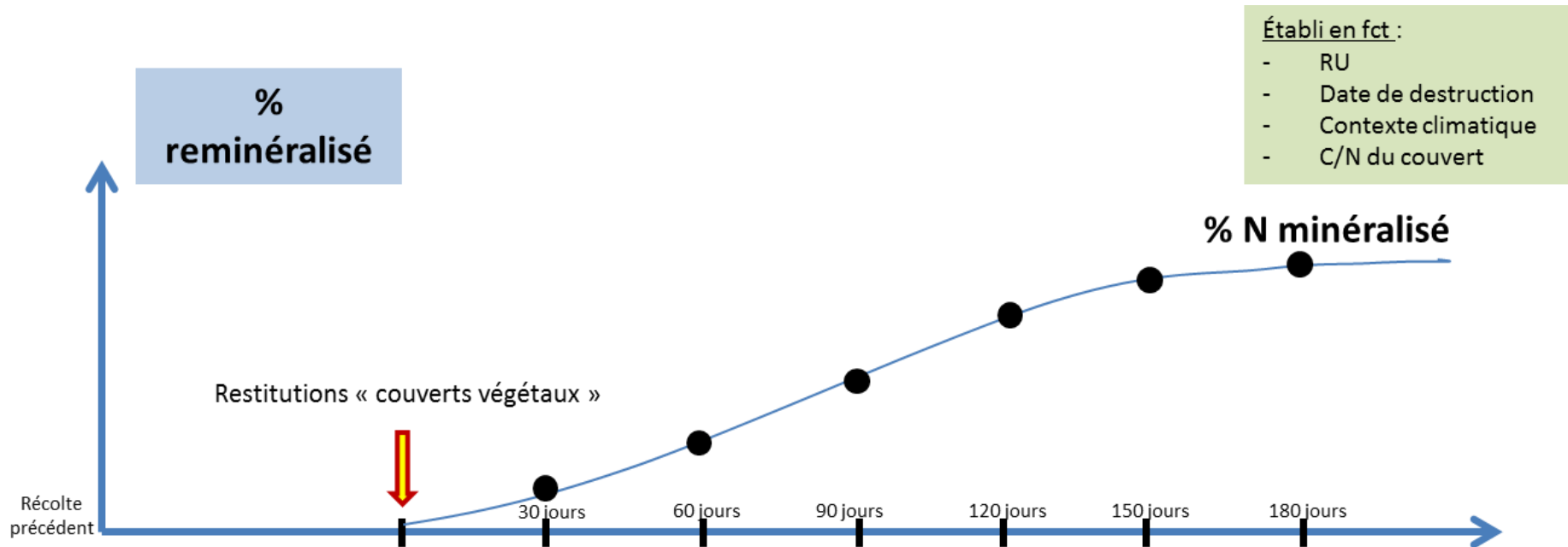
En parallèle, des simulations « sol nu » ont été réalisées dans tous les contextes pédoclimatiques.

Nombre de simulations réalisées

- « cultures intermédiaires » : ~ 575 000 simulations
- « sol nu » : ~ 10 650 simulations
- ☞ *obtention de valeurs médianes / station*

MERCI – Version 2

Formalismes – Modalités de calculs



Objectifs

- Obtenir des références les différents contextes pédoclimatiques
- Travailler avec des données climatiques plus récentes (2006 – 2026)

MERCI – Version 2

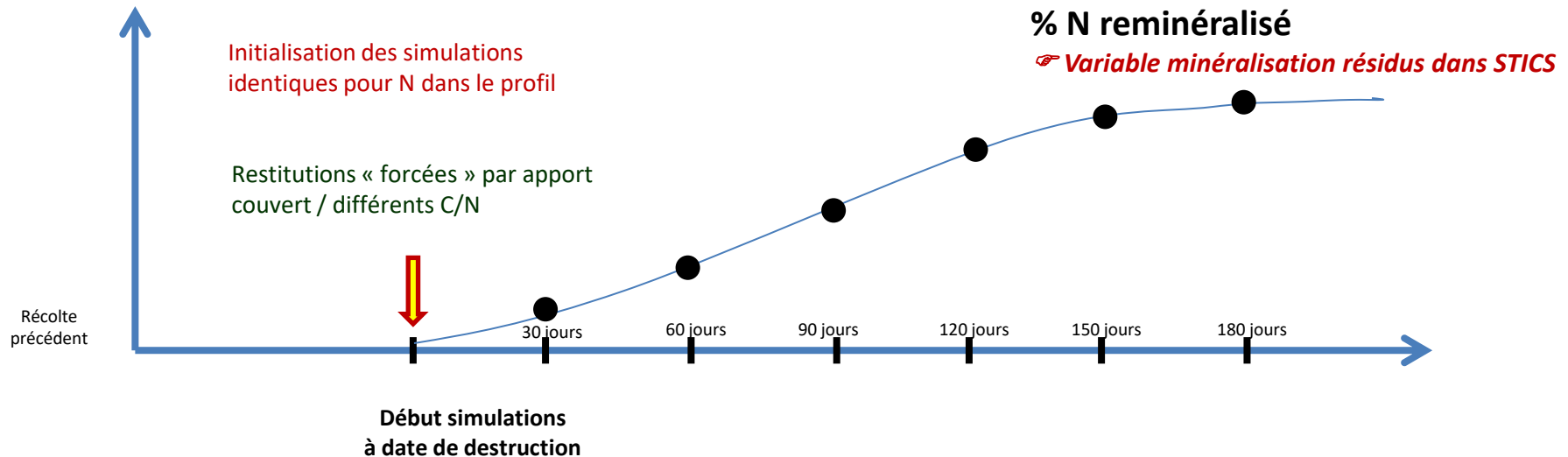
Formalismes – Modalités de calculs

Simulations

Approche du critère « % reminéralisé »

Établi en fct :

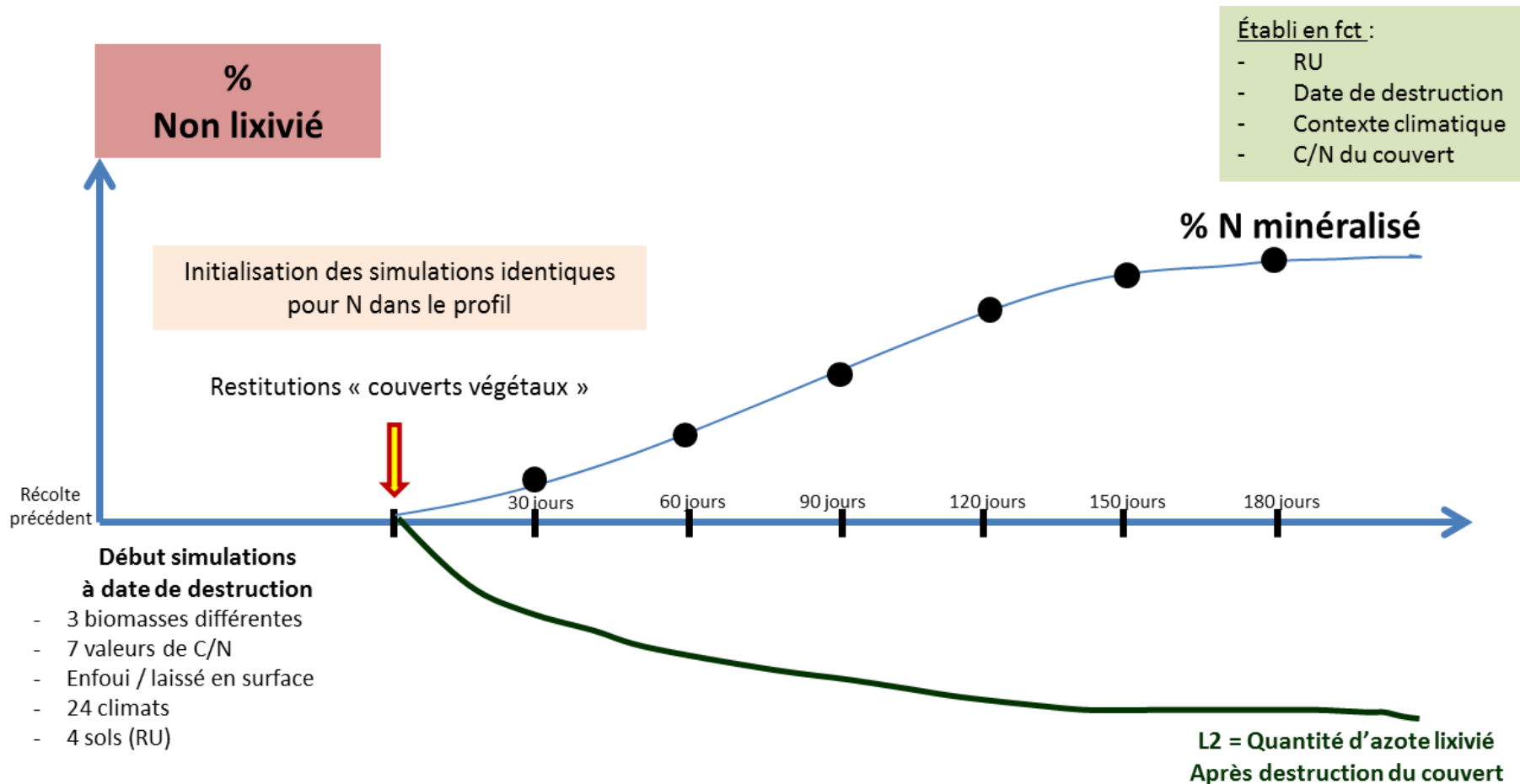
- C/N du couvert
- Résidu : Enfoui/mulché
- Climat



- 3 biomasses différentes
- 2 devenir des résidus « mulchés » (en surface) ou « enfouis »
- 7 valeurs de C/N
- 7 dates de destructions des couverts végétaux
- 24 climats (20 années : 2006 - 2026)
- 2 à 4 sols / station

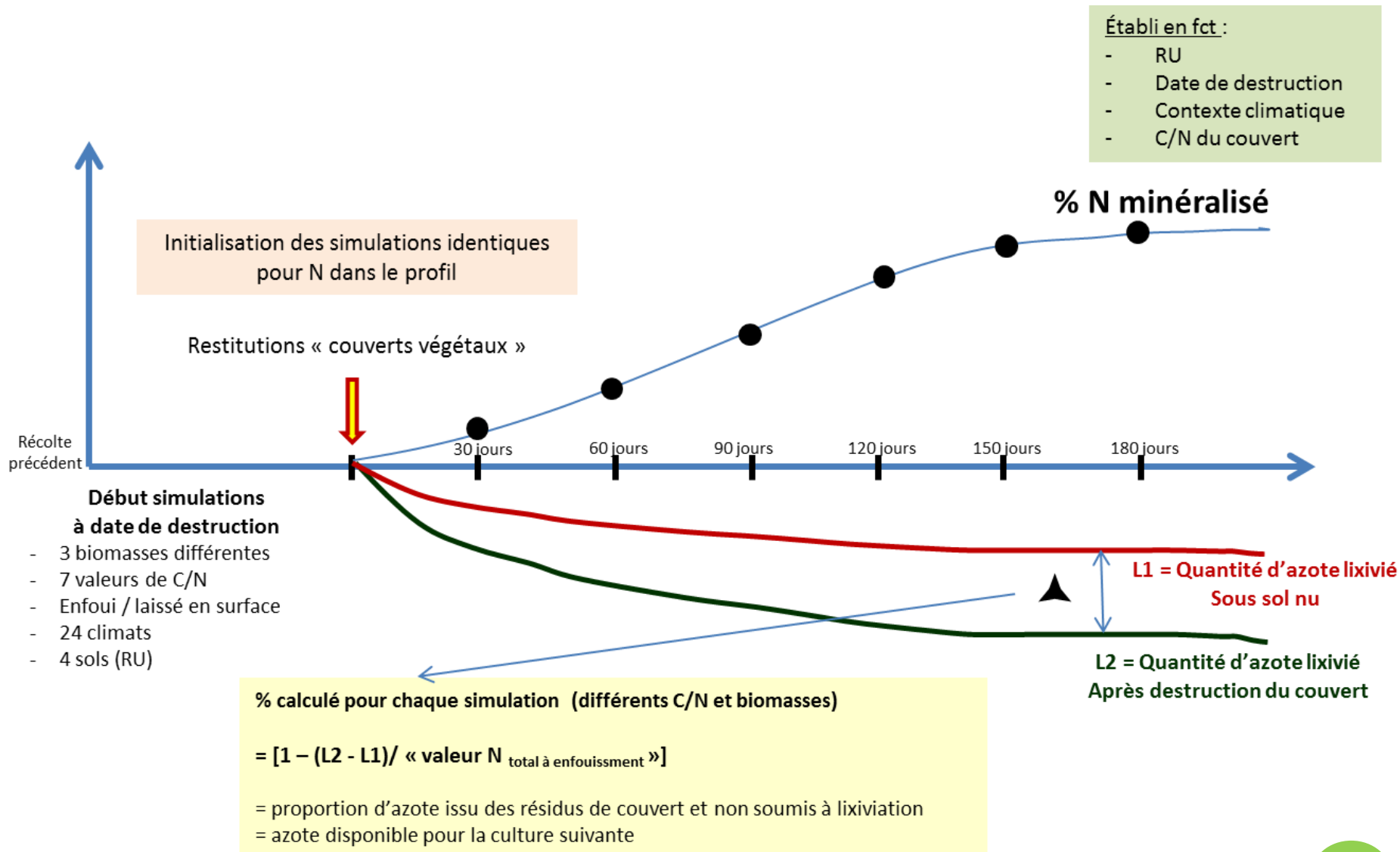
MERCI – Version 2

Formalismes – Modalités de calculs



MERCI – Version 2

Formalismes – Modalités de calculs

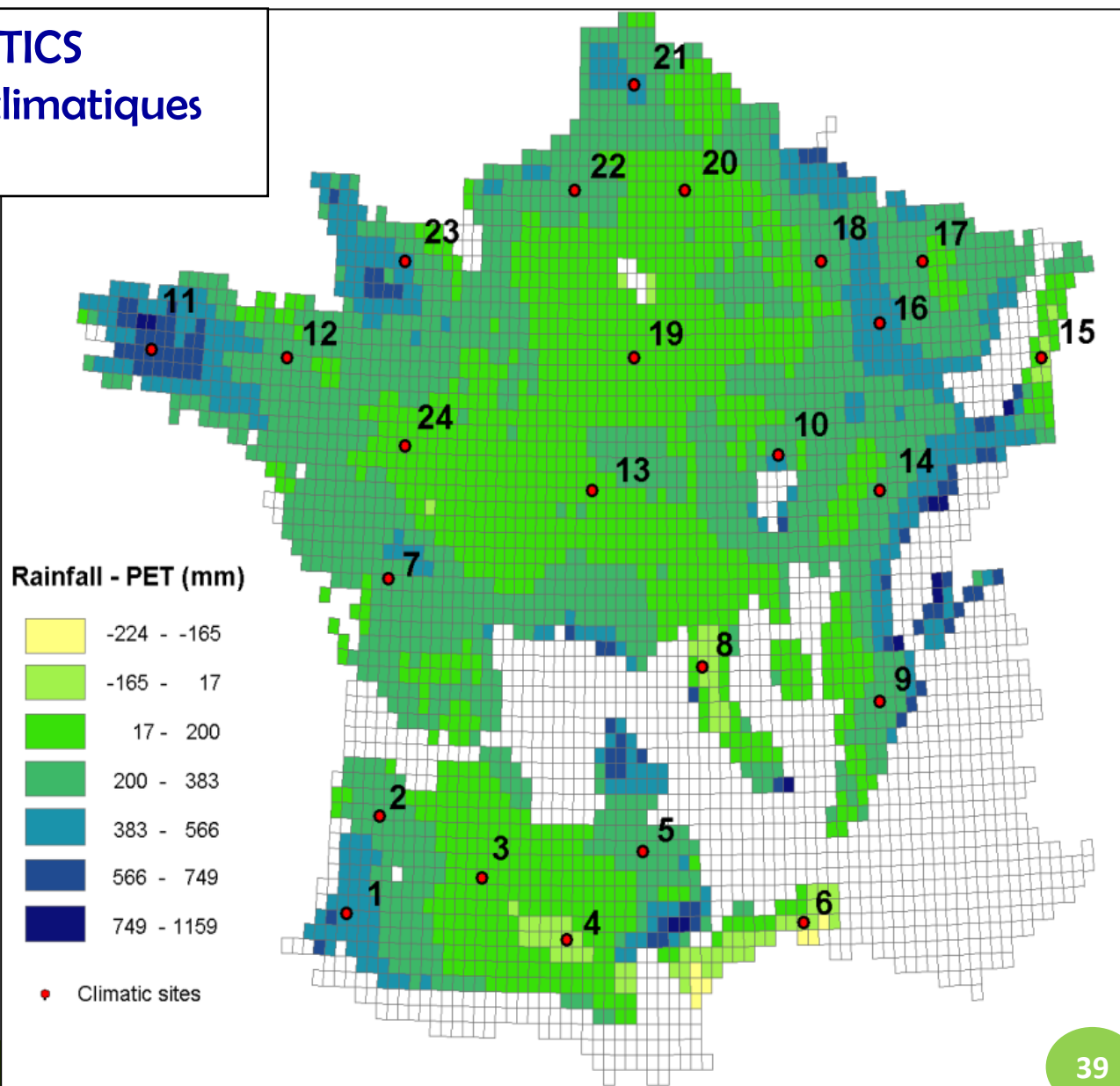


Simulations STICS – Contextes pédoclimatiques étudiés

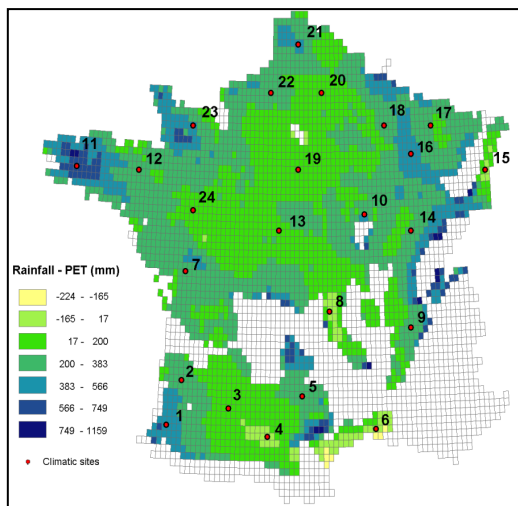
Principe : Acquisition de références à l'échelle « France métropolitaine »

- Découpage de la France métropolitaine en **24 stations** représentatives issues de la démarche mise en œuvre dans l'étude scientifique sur la gestion de l'interculture au moyen de cultures intermédiaires réalisée par *Justes et al.* en 2012 (2012, chapitre 10. Constantin et al.)
- Définition de 2 à 4 sols principaux pour chaque station (carte pédologique au 1/1 000 000, INRAE Infosols, Orléans) => **76 contextes pédoclimatiques étudiés**
- Etude réalisé sur 4 niveaux de réservoirs utiles par sol
 - ☞ 50-100 mm ; 100-150 mm ; 150-200 mm ; 200-250 mm
- Simulations réalisées sur 20 années : **2006 - 2026**
 - ☞ données DRIAS (<http://www.drias-climat.fr/>, scénario RCP 8.5)
 - ☞ données réelles de 2006 à 2018 et **extrapolées pour 2019 à 2026**

Simulations STICS 24 contextes pédoclimatiques étudiés



Caractérisation des contextes pédoclimatiques étudiés



	Contexte	ville à proximité	Précipitations annuelles (mm/an)			Température moyenne annuelle (°C)
			moyenne	mini	maxi	
Site01	Aquitaine	Dax, Peyrehorade	1333	958	1716	13,9
Site02	Aquitaine	Saint Symthorien, Sore	1050	798	1307	13,1
Site03	Midi-Pyrenees	Agen, Condom	839	558	1069	12,9
Site04	Midi-Pyrenees	Toulouse, Baziège	722	424	1075	13,5
Site05	Midi-Pyrenees	Rodez	997	631	1259	11,2
Site06	Languedoc-Roussillon	Montpellier	645	419	976	15,5
Site07	Poitou-Charentes	Niort, Lusignan	866	596	1093	13,0
Site08	Auvergne	Clermont Ferrand	732	490	958	11,3
Site09	Rhone-Alpes	Lyon, Vienne	1095	734	1449	10,7
Site10	Bourgogne	Monbard, Semur en Auxois	1050	663	1474	11,0
Site11	Bretagne	Châteaulin, Landeleau	1126	822	1365	11,5
Site12	Bretagne	Rennes	820	584	1000	11,4
Site13	Centre	Vierzon, Issoudun	769	599	1069	11,9
Site14	Bourgogne	Dole	849	589	1102	11,7
Site15	Alsace	Colmar	789	539	1057	11,6
Site16	Lorraine	Houdelaincourt, Mirecourt	1128	758	1569	9,9
Site17	Lorraine	Nancy, Metz	864	533	1187	10,3
Site18	Champagne-Ardenne	Châlons en Champagne	830	621	1078	10,7
Site19	Centre	Orléans	685	522	1006	11,4
Site20	Picardie	Saint Quentin, Ham	772	559	978	10,9
Site21	Nord-Pas-de-Calais	Béthune, Lens	1104	741	1382	10,1
Site22	Haute-Normandie	Rouen, Neufchâtel en Bray	967	741	1184	10,3
Site23	Basse-Normandie	Caen	994	807	1247	10,2
Site24	Pays de la Loire	Angers	697	497	878	12,2



Formalismes, modalités de calculs

Phosphore, potassium, soufre et magnésium

Stockage et « remise » à disposition à la culture suivante

Phosphore, potassium, soufre et magnésium

« **Quantité totale d'1 élément dans le couvert** » *(partie aérienne + racinaire)*

$$Q_{\text{élément}} = \text{DEV} \times (\text{MSa}) \times \% \text{ de l'élément dans la partie aérienne} \times \% \text{ disponibilité de l'élément} \times 10 \times \text{Fc oxyde} \\ + \text{MSr} \times \% \text{ de l'élément dans la partie racinaire} \times \% \text{ disponibilité de l'élément} \times 10 \times \text{Fc oxyde} \text{ (kg /ha)}$$

Avec : *MSa = Matière sèche aérienne*
MSr = Matière sèche racinaire

Paramètres

- DEV : « Devenir du couvert végétal » : si « exporté », alors DEV = 15 % ; si « restitué », alors DEV = 100 %
- % phosphore PA : teneur en phosphore dans les parties aériennes (P en %)
- % phosphore PR : teneur en phosphore dans les parties racinaires (P en %)
- % disponibilité de l'élément : pourcentage de l'élément disponible pour la culture suivante :
 - ☞ 100 % : potassium, magnésium
 - ☞ 70 % pour phosphore
 - ☞ 50 % pour soufre (disponibilité proche de l'azote avec C/N faible)
- Facteur de conversion en oxyde :
 - ☞ Phosphore (P en P_2O_5) : 2.29
 - ☞ Potassium (K en K_2O) : 1.20
 - ☞ Magnésium (Mg en MgO) : 1.65
 - ☞ Soufre (S en SO_3) : 2.5

Phosphore, potassium, soufre et magnésium

Disponibilité des éléments : P, K, S, Mg

La disponibilité pour la culture suivante des autres éléments contenus dans les résidus de cultures est peu documentée. Elle a été estimée par analogie aux références existantes pour les PRO (*Produits Résiduaire Organiques*).

Le phosphore : à l'exception de ceux à base de farine d'os où le P est sous une forme très peu soluble (apatite), sera entièrement disponible pour alimenter le réservoir du sol. Par contre, cette disponibilité n'est pas immédiate pour la plante, car une partie du phosphore nécessite, pour être disponible, une minéralisation des molécules organiques dans lesquelles il est inclus. Le phosphore restitué est compris entre **0,60 et 0,95** selon les produits. Le complément alimentera le stock de phosphore disponible du sol. **Pour de MERCI, le % de disponibilité a été fixé à 70 %.**

Le potassium est entièrement sous forme soluble et donc totalement disponible pour la culture suivante. **Pour de MERCI, le % de disponibilité a été fixé à 100 %.**

Pour le soufre, en l'absence de références, il est communément admis que le soufre est essentiellement sous forme organique et doit minéraliser comme l'azote pour être disponible. **Pour de MERCI, le % de disponibilité a été fixé à 50 %.**



Formalismes, modalités de calculs

Carbone

Stockage carbone issu de la biomasse

Estimation des quantités totales de carbone restituées au sol

La méthode MERCI estime la **quantité de carbone** provenant du couvert d'interculture (parties aériennes et racinaires) qui rejoint le **stock de carbone stable du sol**.

Cette quantité ne correspond pas à la totalité du carbone contenu dans le couvert car une part importante de ce carbone est rapidement transformée en CO₂ sous l'action des micro-organismes du sol lors de la minéralisation des résidus de couvert.

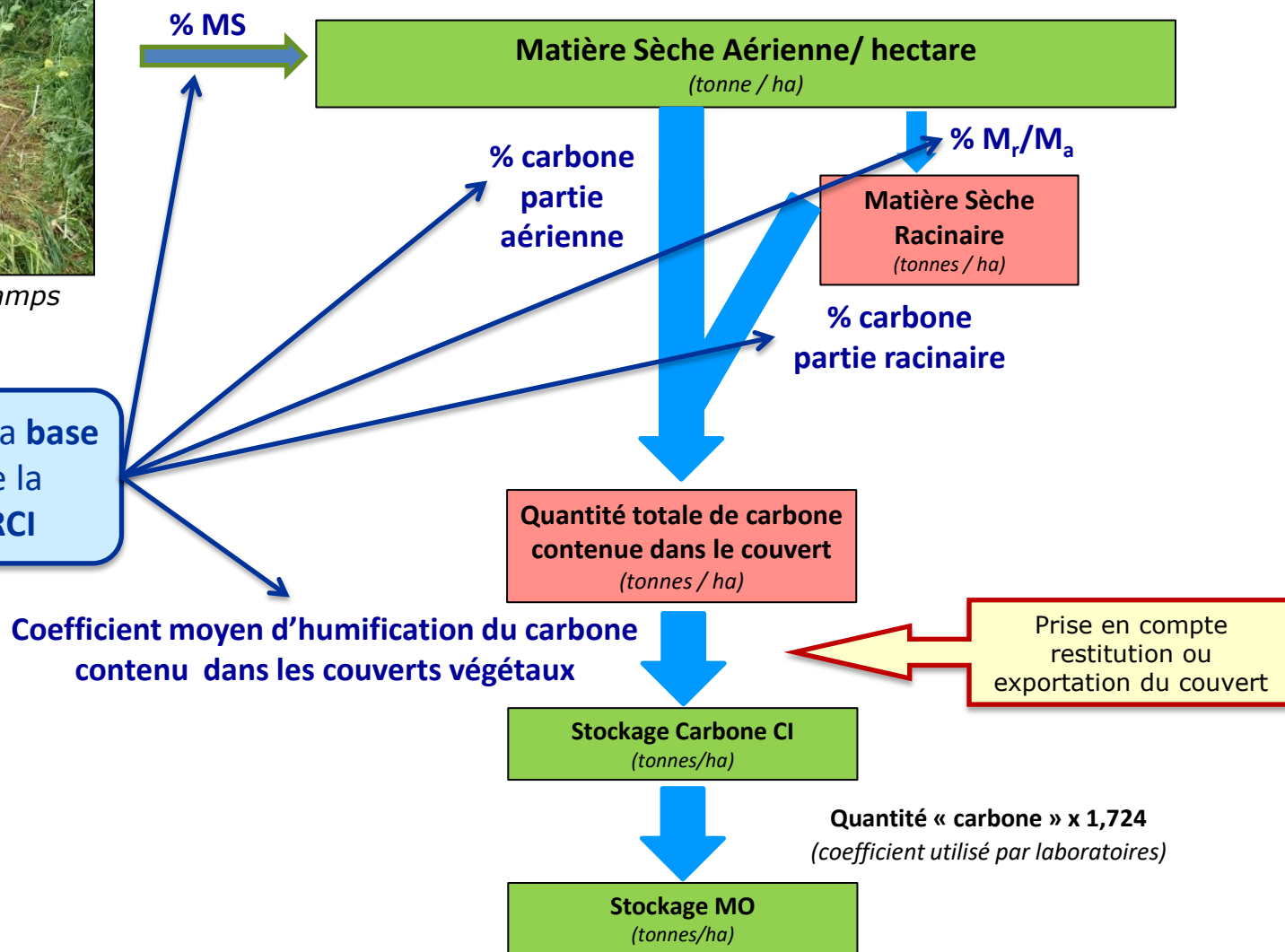
Ainsi, près des trois quarts du carbone des couverts est émis dans l'atmosphère sous forme de CO₂ et seule la fraction la plus stable, difficilement transformée par les micro-organismes contribue à enrichir le sol en carbone.

C'est cette contribution aux entrées de carbone stable dans le sol qui est estimée par la méthode MERCI. Elle est exprimée en quantité de carbone stable (t de C/ha) et de matière organique entrante (t de MO/ha).

Estimation des quantités totales de carbone restituées au sol



Prélèvements aux champs



Estimation des quantités totales de carbone restituées au sol

Stockage carbone stable (tonne de C / hectare) =

$$+ \quad MS_{\text{aérienne}} \times \% \text{ C dans partie aérienne} \times 0.28$$

$$+ \quad MS_{\text{racinaire}} \times \% \text{ C dans racine} \times 0.28$$



**Coefficient d'humification moyen
du carbone contenu
dans les couverts végétaux**

Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments

J. Constantin^a, B. Mary^a, F. Laurent^b, G. Aubrion^b, A. Fontaine^b, P. Kerveillant^c, N. Beaudoin^{a,*}

^a INRA Unité Agro-impact, rue Fernand Christ, 02007 Laon Cedex, France

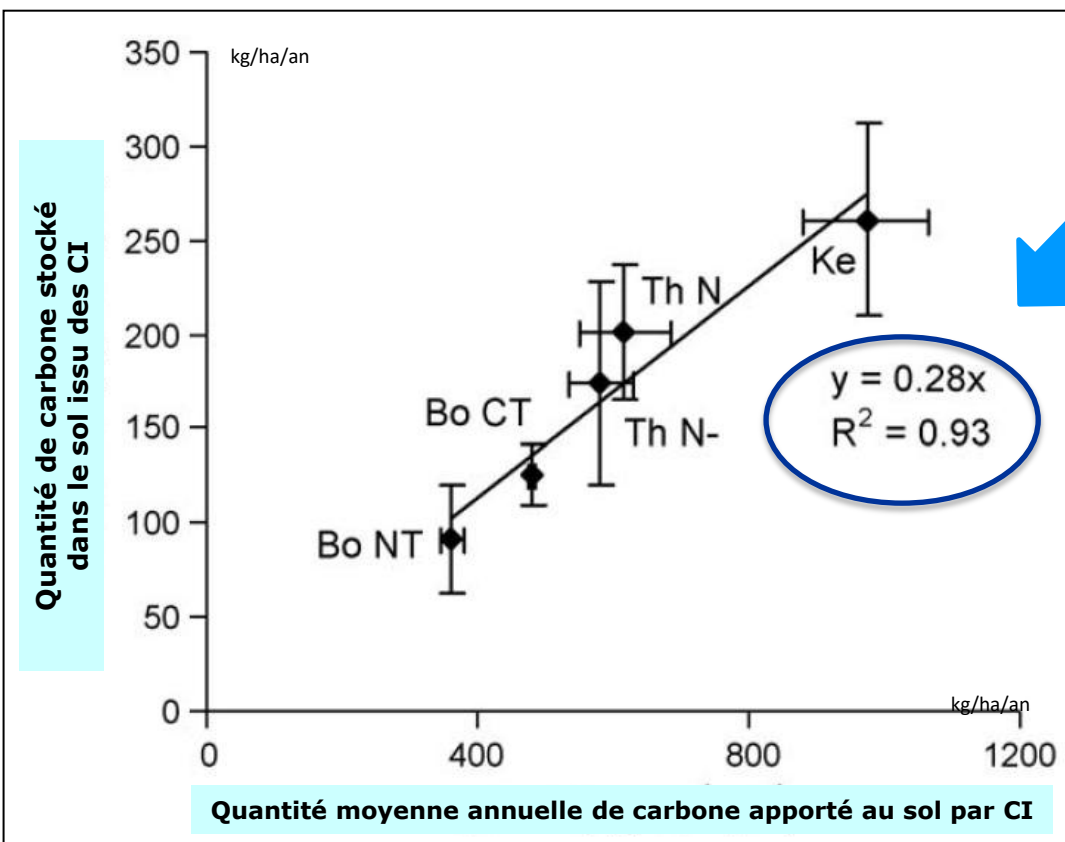
^b Arvalis Institut du Végétal, 91700 Boigneville, France

^c Chambre d'Agriculture du Finistère, 5 allée Sully, 29322 Quimper Cedex, France

Relation entre :

- quantité moyenne de carbone "humifié" stocké dans le sol issu des cultures intermédiaires (CI)
- et**
- quantité moyenne annuelle de carbone totale apportée au sol par les cultures intermédiaires (CI)

Données issues de 3 sites d'expérimentations français :
Boigneville (Bo), Kerlavit (Ke) Thibie (Th)



Estimation des quantités totales de carbone restituées au sol

Exemple : Nouvelle Aquitaine

☞ tous types de couverts avec résidus restitués

☞ Base de données des calculs réalisés sur la plateforme MERCI de novembre 2020 à décembre 2021 (2432 valeurs)

Biomasse moyenne produite (T MS/ha)

- Aérienne : 2,8 tonnes MS / ha

- Racinaire : 0,9 tonnes MS / ha

3,7 t MS/ha



Ecart-type de +/- 2,9 t MS/ha

Mini : 0,1 t MS/ha ; Maxi : 14 t MS/ha



- Grandes cultures : 4 t/ha
- Viticulture : 2 t/ha



Carbone « stable » stocké en moyenne dans le sol
0,425 t/ha de carbone stable

- Grandes cultures : 0,460 t/ha
- Viticulture : 0,240 t/ha

A retenir : stockage moyen de carbone par le couvert

=> 0,10 à 0,14 tonnes par tonne de MS totale du couvert (aérienne + racinaire)

Estimation des quantités totales de carbone restituées au sol

Une contribution significative dans le stockage du carbone mais relative !

Pour information :

- sol limon-argilo-sableux avec 2.5 % de MO, sans cailloux
- densité apparente de 1.45

⇒ *contient, sur 30 cm de profondeur, ~63 tonnes de carbone stable par hectare*



- Culture intermédiaire = 3 à 6 tonnes de MS / ha

⇒ *entrées de carbone stable : 0,3 à 0,85 tonnes de carbone par hectare*

⇒ *quantités de carbone apportées au sol par la culture intermédiaire, restent très modestes au regard du stock total de carbone sur 30 cm, mais non négligeables sur le long terme (1 à 1,3 % du stock initial)*

Estimation des quantités totales de carbone restituées au sol



Attention !



- stockage de carbone **pas** infini

☞ *point d'équilibre au bout d'un certain nombre d'années (~ 20-80 ans)*

☞ *fonction : type de sol, stock initial, pratiques (résidus, apports PRO, couverts, travail du sol, ...),*

- Augmentation du stock jusqu'à un équilibre (*stabilisation*)

☞ *plus le stock de MO du sol augmente et plus la minéralisation augmente*

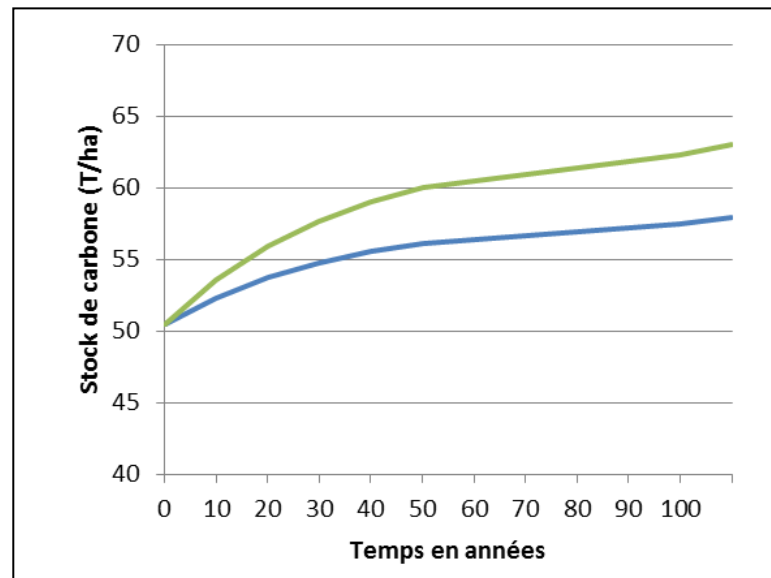
☞ *augmentation libération de CO₂ => déstockage en partie du carbone*

Rotation Colza - (CI) - Blé - (CI) - Tournesol - Blé

- Argilo-calcaires profonds (86), MO initiale à 3,5 %
- Non irriguée
- Pas d'apports de MO
- Restitution des pailles à 100%

- CI 2 années sur 4 :
 - repousses colza (après colza)
 - moutarde (avant tournesol)

— Sans cultures intermédiaires
— Avec cultures intermédiaires



Simulations avec SIMEOS-AMG

Estimation des quantités totales de carbone restituées au sol



Estime la **contribution moyenne des couverts avant atteinte de l'équilibre**

Autrement dit,

- si levier « couverts » introduit dans système de culture récemment

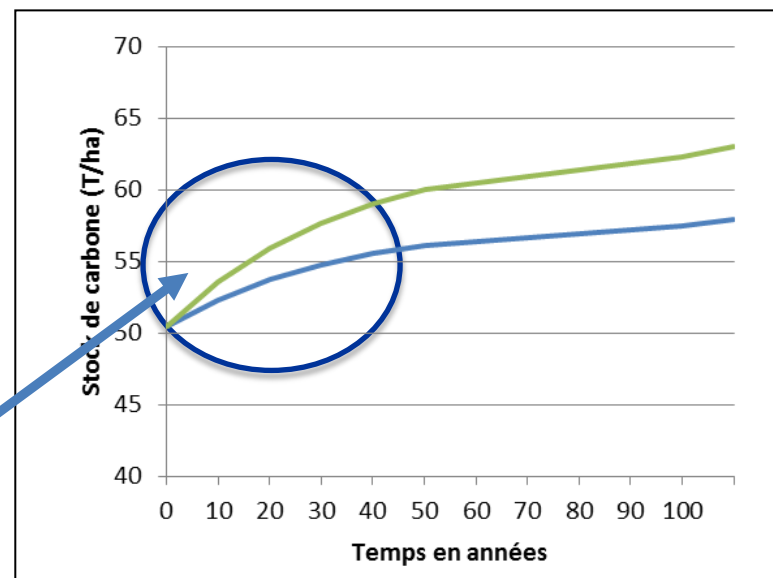
☞ **estimations MERCI correctes**

- Si sol à l'équilibre pour carbone : *teneur importante en MO, apports PRO/couverts depuis de nombreuses années (30-40 ans)*

☞ **MERCI « surestime » la contribution au stockage C**

Estimations « fiables » à court-moyen terme

☞ *30 à 40 prochaines années 😊*



1

Formalismes, modalités de calculs

Intégration dans MERCI de la destruction du couvert végétal par pâturage

Impact sur la restitution rapide des éléments minéraux principaux
(azote, phosphore, potassium) et disponibilité pour la culture suivante

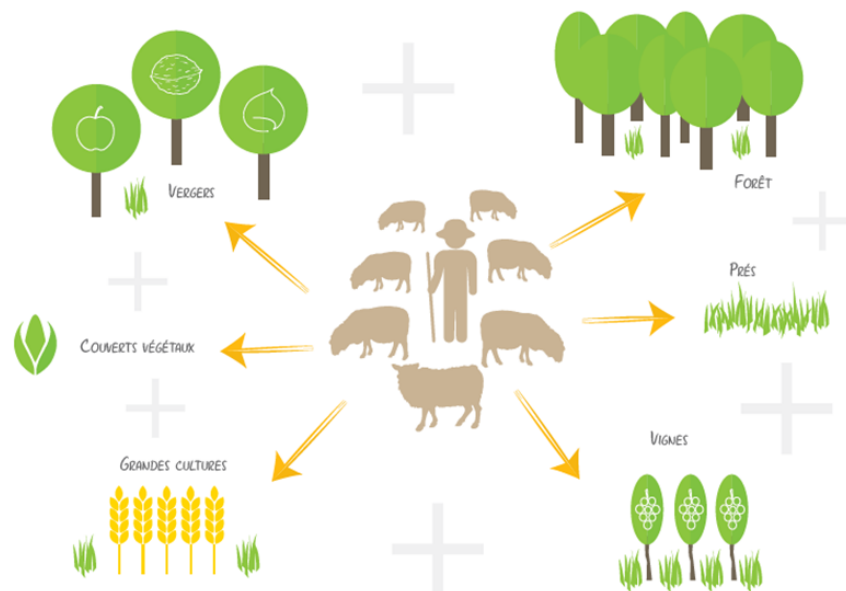


À pâturer de septembre
à février selon la durée
de l'interculture

Les couverts : une opportunité à pâturer

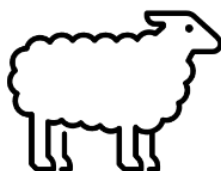
Faire pâturer des surfaces complémentaires à la surface fourragère principale de l'exploitation offrent **une ressource fourragère supplémentaire** aux troupeaux.

Pour certains éleveurs, c'est parfois l'unique « SFP »



Ajouter **du pâturage** sur une parcelle agricole c'est offrir **des alternatives à la gestion du couvert**, gagner en **autonomie sur les intrants**, améliorer les sols...

Impacts du pâturage des couverts végétaux sur la disponibilité des éléments minéraux



Quasiment toutes les espèces sont pâturables

☞ *appétence forte : rave, radis chinois, avoine, millet*

☞ *appétence « moindre » : féverole, moutarde*



☞ Fiche sur la toxicité des espèces : <https://agriconnaissances.fr/couverts-vegetaux/paturage-des-couverts/>

☞ Données sur les intérêts du pâturage et impacts sur les éléments minéraux

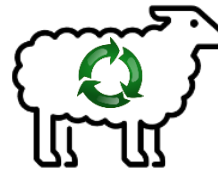
☞ Guide juridique

Impacts du pâturage des couverts végétaux sur la disponibilité des éléments minéraux

Les bases agronomiques du raisonnement



Restitutions des éléments minéraux
(fonction C/N, biomasse, ...)



Restitutions des éléments minéraux différentes car ingestion et digestion par animaux

Fixé à 70 % dans MERCI
(restitutions rapides de 70 % du P stocké dans le végétal)
Si non pâturé

Restitutions des animaux ?

us en p

Fixé à 100 % dans MERCI
Si non pâturé

Restitutions des éléments minéraux par les animaux

agro Transfert, consulté en mai 202



	N	P	K
Restitutions (en % du couvert consommé)	75	64	90
Via les urines (en % des restitutions)	67	0	88
Via les fèces (en % des restitutions)	33	100	12

Variable dans MERCI en fonction du C/N
Si non pâturé

« fourchette basse des restitutions »

Impacts du pâturage des couverts végétaux sur la disponibilité des éléments minéraux

Sans pâturage



Biomasse aérienne

Racines

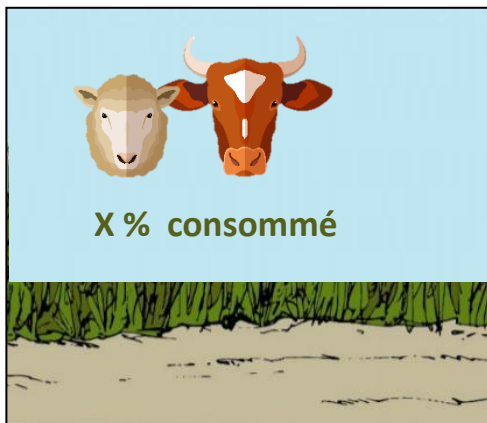
Couvert intégralement restitué

N, P, K en partie restitués au sol (*fonction : biomasse, C/N, ...*)
provenant de la biomasse aérienne et racinaire



“C’est un broyeur à l’avant
et un épandeur à l’arrière”

Avec pâturage



Biomasse aérienne
ingérée

Biomasse aérienne
NON ingérée

Racines

Restitutions déjections animales (*urine, fécès*)

Restitutions N, P, K provenant de la partie aérienne
non pâturée

Restitutions N, P, K provenant de la biomasse
racinaire

Impacts du pâturage des couverts végétaux sur la disponibilité des éléments minéraux

Utilisation de la méthode MERCI



👉 www.methode-merci.fr



Exemple

Contexte :

- lieu : Niort (79)
- Argilo-calcaire moyennement profond (groie profonde)

Couvert végétal :

- avoine fourragère (40 kg/ha)
- Vesce velue (20 kg/ha, variété MASSA)

Itinéraire :

- semis : 15/07
- réalisation d'une mesure de biomasse aérienne juste avant le pâturage
- pâturage au 15/11
- animaux (ovins) sur la parcelle en permanence
- estimation d'une consommation à 70 % du couvert végétal au retrait des animaux



Estimation des restitutions en N P K pour la culture suivante

Niort (79)

argilo-calcaire moyennement profond

Couvert
semé le
15/07 :

avoine
fourragère
(40 kg/ha) &
vesce velue
(20 kg/ha,
variété MASSA)



mesure de biomasse aérienne
juste avant le pâturage

Étape 1



Pâturage au 15/11, en continu
jour/nuit.

Estimation d'une
consommation de la biomasse à
70%

Étape 2


MERCI
Méthode d'Estimation des Restitutions
par les Cultures Intermédiaires



www.methode-merci.fr

Étape 3

Impacts du pâturage des couverts végétaux sur la disponibilité des éléments minéraux



RÉALISER UN CALCUL

RÉINITIALISER

Type de calcul

☐ Données réelles

☒ Simulation

Méthode choisie

☒ Biomasse Verte

☐ Biomasse Sèche

Nom de la parcelle

non pâturage_juin25

Pays

France

Commune / Code Postal

79000 NIORT

Contexte

☒ Grandes Cultures / Elevage

☐ Culture pérenne (viticulture / arboriculture)

☐ Maraîchage / PPAM

Surface occupée par le couvert

100

%

Type de sol

Groie Profonde

Réserve Utile du sol (RU en mm)

☐ RU < 100

☒ 100 < RU < 150

☐ 150 < RU < 200

☐ RU > 200

Devenir du couvert

☐ Restitué

☐ Exporté

☒ Pâturé

Gestion des résidus

☒ Enfouis

☐ Laissés en surface

Date de levée (ou semis)

15/07/2024

Date de la mesure

15/11/2024

Impacts du pâturage des couverts végétaux sur la disponibilité des éléments minéraux

Espèce 1

Avoine fourragère (strigosa) ✕ ▼

Graminées - Poacées

Biomasse aérienne verte (gramme)

Surface de prélèvement (m²)

Forcer le calcul avec l'état végétatif : ⓘ

☒ Calcul Automatique

☐ Floraison/Épiaison

☐ Sénescence

N° de prélèvement

1	2	3
1000 g		
1 m ²		

Biomasse consommée par le troupeau

70 %

Supprimer cette espèce 🗑️

Espèce 2

Vesce velue ✕ ▼

Légumineuses - Fabacées

Biomasse aérienne verte (gramme)

Surface de prélèvement (m²)

Forcer le calcul avec l'état végétatif : ⓘ

☒ Calcul Automatique

☐ Floraison/Épiaison

☐ Sénescence

N° de prélèvement

1	2	3
1400 g		
1 m ²		

Biomasse consommée par le troupeau

70 %

Supprimer cette espèce 🗑️

Ici, pas de distinction entre les espèces, estimation d'une consommation du couvert à 70 %, mais distinction possible....

RÉSULTATS

Couvert végétal

Juste avant le pâturage



CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT

Matière sèche aérienne

t/ha

Azote piégé total (Aérien + Racinaire)

kg/ha

4,3

135

Après pâturage



- 70 % de la biomasse aérienne ingérée (~ 3 tonnes MS/ha)

=> évaluation restitutions avec formalismes « pâturage »

- 30 % piétinée /détruite (1,3 tonnes/ha)

=> évaluation formalismes avec C/N, ...

- 100 % des racines

=> évaluation formalismes avec C/N, ...

Couvert végétal détruit au 15/11 non pâturé

CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT

Matière sèche aérienne	t/ha	Azote piégé total (Aérien + Racinaire)	kg/ha
4,3		135	

RESTITUTION RAPIDES DU COUVERT AU SOL (à partir de la date de mesure / destruction indiquée)

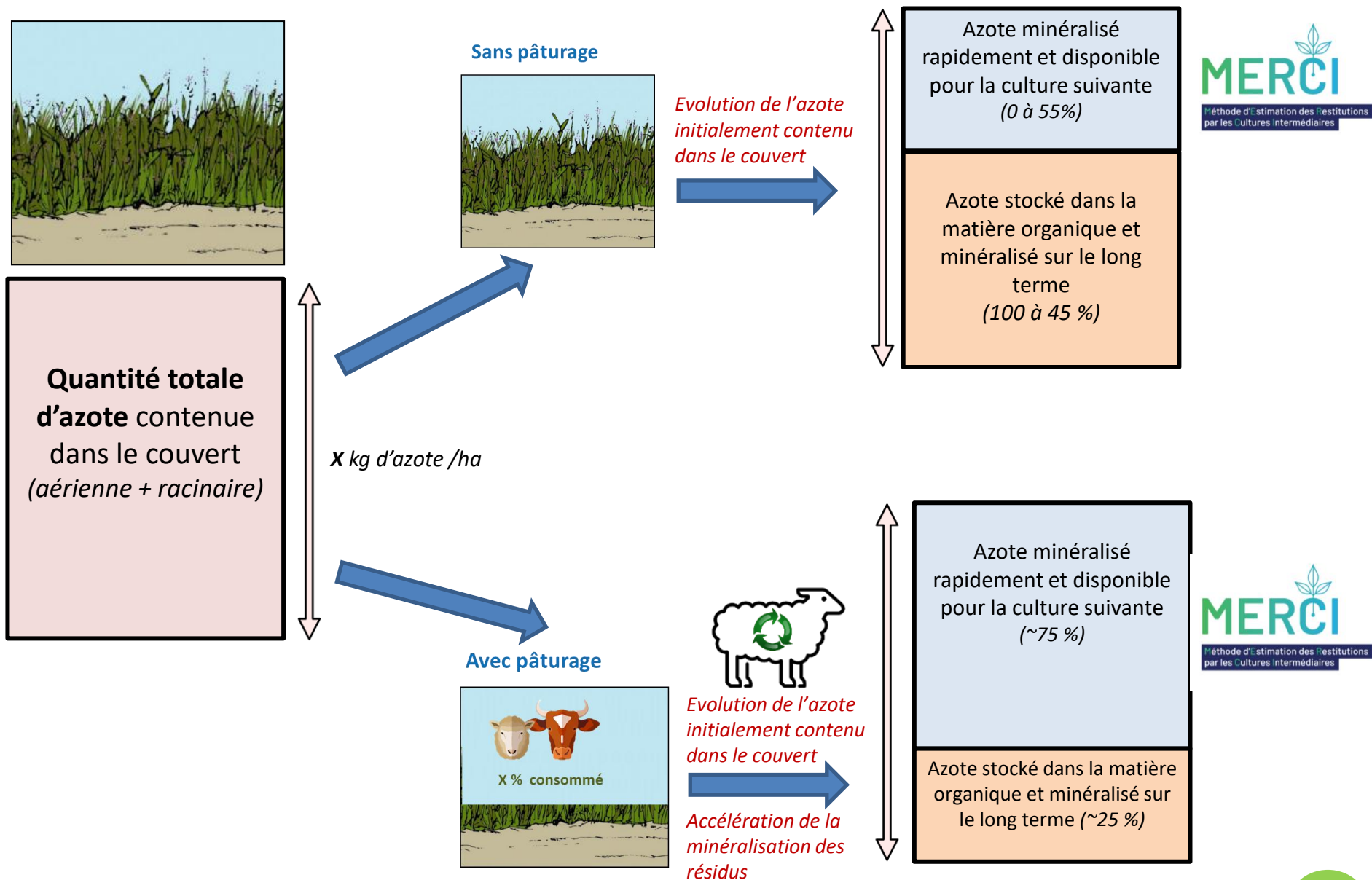
Azote (N)	kg/ha	Informations sur la dynamique de minéralisation					
41		23 Kg A 30 jours	5 Kg A 60 jours	6 Kg A 90 jours	4 Kg A 120 jours	3 Kg A 150 jours	Kg A 180 jours
Phosphore (P ₂ O ₅)	kg/ha	Potassium (K ₂ O)	kg/ha	Soufre (SO ₃)	kg/ha	Magnésium (MgO)	kg/ha
25		135		10		10	

Couvert végétal, pâturé au 15/11

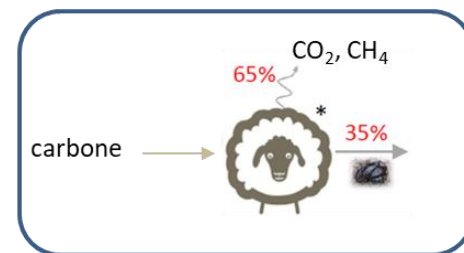
RESTITUTION RAPIDES DU COUVERT AU SOL (à partir de la date de mesure / destruction indiquée)

Azote (N)	kg/ha	Informations sur la dynamique de minéralisation					
73		53 Kg A 30 jours	20 Kg A 60 jours	Kg A 90 jours	Kg A 120 jours	Kg A 150 jours	Kg A 180 jours
Phosphore (P ₂ O ₅)	kg/ha	Potassium (K ₂ O)	kg/ha	Soufre (SO ₃)	kg/ha	Magnésium (MgO)	kg/ha
25		125		10		10	

Impacts du pâturage des couverts végétaux sur la disponibilité des éléments minéraux



D'après les travaux les plus récents, **pertes d'environ 65% du carbone** contenu dans le couvert par dégagement de CO₂ en majorité et CH₄.



**Couvert végétal
 Détruit au 15/11
 non pâturé**

CONTRIBUTION AU STOCKAGE DE CARBONE DANS LE SOL

Carbone stable	t/ha	Evolution Matière Organique	t/ha
0,6		1,0	

**Couvert végétal
 Pâturé au 15/11**

CONTRIBUTION AU STOCKAGE DE CARBONE DANS LE SOL

Carbone stable	t/ha	Evolution Matière Organique	t/ha
0,5		0,8	

Impacts du pâturage des couverts végétaux sur l'évolution du stockage de carbone

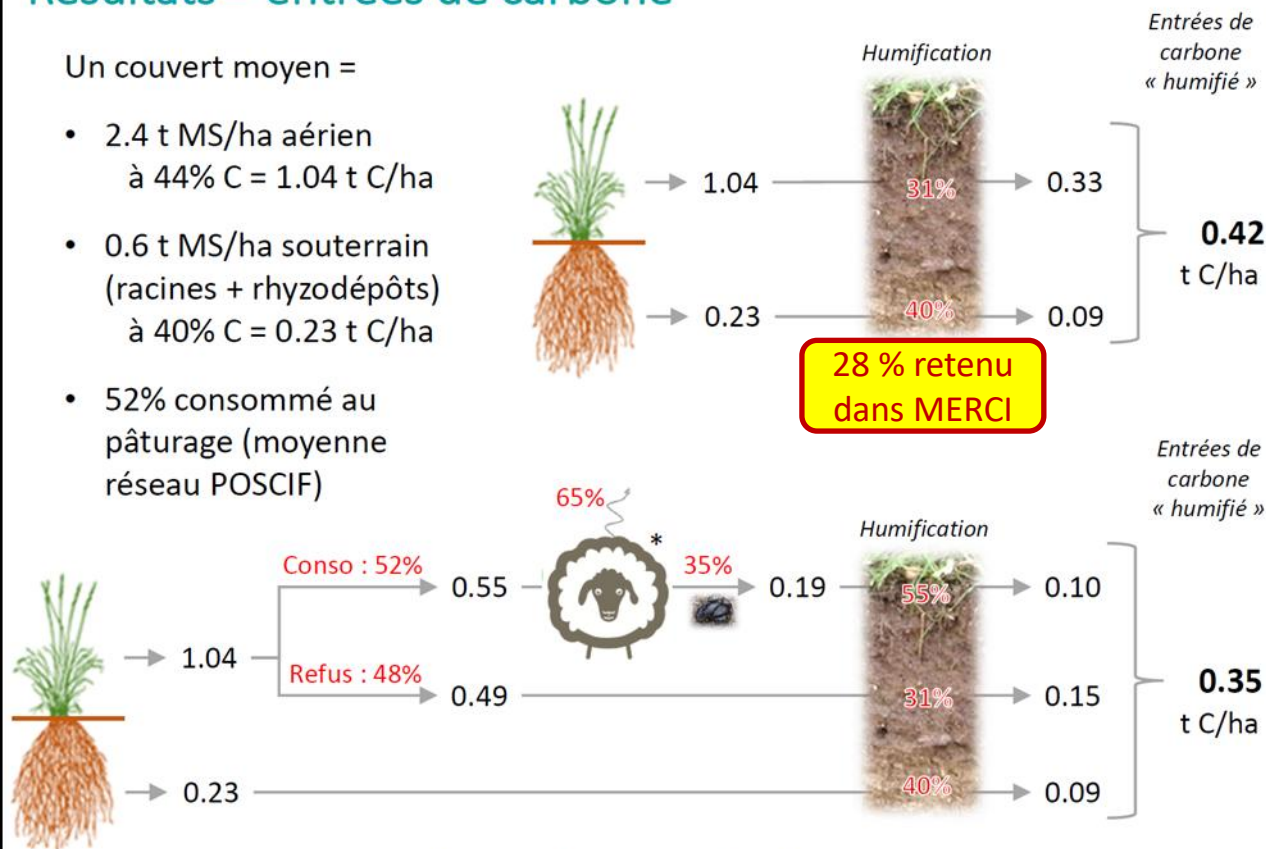
Evolution

👉 Légère diminution du stockage de carbone et de matière organique

Résultats – entrées de carbone

Un couvert moyen =

- 2.4 t MS/ha aérien
à 44% C = 1.04 t C/ha
- 0.6 t MS/ha souterrain
(racines + rhizodépôts)
à 40% C = 0.23 t C/ha
- 52% consommé au
pâturage (moyenne
réseau POSCIF)



* Sauvant and Giger-Reverdin (2009)

Conclusions

- Plus de restitutions en « azote » directement assimilables si les animaux restent en permanence sur les parcelles
 - Des restitutions quasi-identiques pour le phosphore et la potasse
- Moins de stockage de carbone et de matière organique sur le long terme

Limites / points délicats

- Estimation délicate du % pâturé
 - ☞ jamais 100 %
 - ☞ souvent entre 30 et 80 %....., régulièrement 55 à 60 %
- Références de restitutions des éléments « moyennes » (*ovins, bovins*), à terme possibilités de distinguer les animaux, le chargement et type de pâturage....

2

Mise en œuvre aux champs Utilisations de la plateforme internet



2

Mode opératoire « au champ »

Photos illustratives



Chloé Potau – AGR179



Matériels nécessaires



POUR

- repérer une placette : quadrat de 1 m² (mètre, jalons, bâtons,), ou autre dimensions
- « couper à ras du sol » : ciseaux, cisailles, tondeuses,
- trier les espèces : bâche + différentes sacs
- peser : peson, balance de cuisine + sacs ou cuvette
- Noter : blocs notes + crayons (mesures + observations du couvert)



Repérer la placette



Prélever les couverts



Plantes « ressuyées », sans eau,
sinon, sur-estimation du poids

Prélever les couverts



Trier les espèces pour la pesée !

Avant la pesée



Lors du prélèvement

Pesées des espèces !



Parcelle = Xaigman
Coutat = Biomix

	1 m ²	1 m ²
Ruchis	1000 g	
Nouveau	1000 g	
Vence	1200 g	
Avoine	600 g	
phacelia	250 g	
Repousse	150 g	

La méthode MERCI

Mise en œuvre

- **Réalisation d'un prélèvement au champ**

- ~25 minutes par placette pour couvert à 3-4 espèces
- Prélever en conditions ressuyées (*pas d'eau ou rosée sur les parties aériennes*)
- Repérer une placette (1 m^2 ; $0,5\text{ m}^2$;)
- Couper les espèces « au ras du sol », sauf pour les radis => « au collet »
- Trier et peser individuellement chaque espèce (*valeur en gramme / placette*)
- Réaliser des répétitions si nécessaire (*couvert hétérogène*)

- **Sur la plateforme MERCI :** www.methode-merci.fr

- Données de « contexte »
- Résultats des pesées



Fiches à disposition pour vous aider

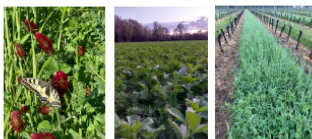
Feuille de prélèvement

Procédure de prélèvement

Couverts végétaux

Pesée de biomasse aérienne

Les pesées de biomasse aérienne permettent d'estimer les restitutions d'éléments minéraux par les couverts végétaux, en utilisant la méthode MERCI.



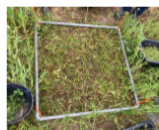
MERCI

<https://methode-merci.fr/>

Méthode de prélèvement

Afin de ne pas surestimer la biomasse aérienne produite, la mise en œuvre de la méthode MERCI de pesée de biomasse doit se faire sur des **couverts végétaux secs ou ressuyés** (sans rosée, ni pluie). Généralement, il est conseillé de réaliser ces pesées **à partir de 1h et peu de temps avant la destruction du couvert** afin d'estimer au mieux les restitutions.

→ Repérer et prélever une à plusieurs placettes (par exemple de 1 m² chacune)



- Le nombre de placettes est variable selon l'hétérogénéité du couvert :
 - 1 à 2 placettes pour un couvert homogène
 - minimum 5 placettes pour un couvert qui apparait hétérogène (espèces différentes, niveaux de pousse différents,...)
- Les placettes doivent être représentatives de l'homogénéité et/ou hétérogénéité de la parcelle.
- Les différentes espèces sont à couper "au ras du sol" (en évitant de prélever de la terre), sauf les espèces possédant une racine développée hors du sol (ex. radis asiatique, rave, ...) pour lesquelles il ne sera prélevé que la partie aérienne.
- Les espèces coupées doivent être **triées** puis **pesées séparément** afin d'obtenir un calcul individualisé par espèce et la prise en compte pertinente de la contribution de chaque espèce dans le mélange.

→ Saisir ces résultats de pesées (en grammes) dans l'appliquet de calcul MERCI (<https://methode-merci.fr/>) et visualiser les résultats



La méthode MERCI repose sur le couplage entre :

- des **références "terrain"** permettant d'estimer les teneurs N, P, K, S et Mg de la majorité des espèces d'engrais verts utilisées
- et des **références obtenues par simulation avec le modèle de culture STICS de l'INRAE** pour définir, après destruction, la quantité d'azote rapidement restituée au sol dans différents contextes pédoclimatiques de France métropolitaine.



MERCI

Feuille de notations

Parcelle / nom

Date mesure

Surface prélevée (m²)

Date levée (semis)

Sol

	Espèces (variétés)	Poids frais (gramme)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Commentaires (homogénéité du couvert, adventices principales, ravageurs, auxiliaires, ...)

2

Mode opératoire « au bureau »

Consultations & Utilisations de la plateforme internet

Saisies des données nécessaires
&
Réalisation des calculs



Plateforme internet MERCI



- Page d'accueil : 5 menus
- Utilisation gratuite

The screenshot shows the homepage of the MERCI platform. At the top, there is a dark blue navigation bar with links: PARTENAIRES, FOIRE AUX QUESTIONS, BIBLIOTHÈQUE, RÉALISER UN CALCUL, and MON COMPTE. Below the navigation bar, the main header area features a green background with a plant illustration. Five numbered circles (1 to 5) are overlaid on the page to indicate key elements: 1 points to the 'PARTENAIRES' link, 2 points to the 'FOIRE AUX QUESTIONS' link, 3 points to the 'BIBLIOTHÈQUE' link, 4 points to the 'MON COMPTE' button, and 5 points to the 'RÉALISER UN CALCUL' button. The main content area displays 'VERSION 3.0.0' and the large 'MERCI' logo, followed by the subtitle 'Méthode d'Estimation des Restitutions par les Cultures Intermédiaires'. Below this, a text box states: 'MERCI est une méthode "de terrain" qui se veut facile d'utilisation et rapidement opérationnelle. La méthode MERCI, développée en 2010 par la Chambre Régionale d'Agriculture Nouvelle-Aquitaine contribue, par une mesure simple et rapide au champ, à démontrer l'intérêt agronomique, économique et environnemental des cultures intermédiaires multi-services sur le recyclage et la mise à disposition des éléments minéraux. Simple à mettre en œuvre, elle vous permettra d'évaluer concrètement l'intérêt d'implanter un couvert végétal et diminuer, le cas échéant, la fertilisation de la culture suivante (ou en place dans le cas de la vigne).'

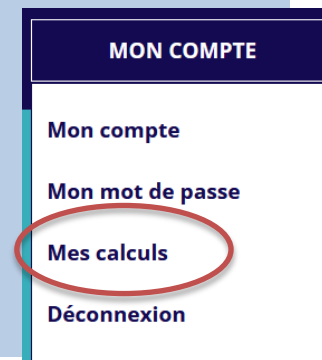
Deux possibilités de consultations & d'utilisations

Utilisateur « non inscrit »

- Accès au module de calcul et possibilité de réaliser des calculs
- Accès limité aux fonctionnalités de la plateforme (*impression, sauvegarde, bibliothèque*)
- Pas d'espace personnel pour sauvegarder les calculs réalisés
- Pas d'accès aux données intermédiaires des calculs réalisés

Utilisateur « inscrit » ➡ **GRATUIT**

- Accès au module de calcul et possibilité de réaliser des calculs
- Accès à toutes les fonctionnalités de la plateforme (*impression, sauvegarde, bibliothèque*)
- Création d'1 espace personnel et sauvegarde des calculs
- Accès aux données intermédiaires des calculs réalisés



Plateforme internet MERCI

1

PARTENAIRES

Présentation et remerciement des contributeurs techniques et financiers pour leurs implications dans le développement de la plateforme MERCI

2

FOIRE AUX QUESTIONS

Informations sur la méthode et réponses aux questions les plus fréquentes ➔ **À consulter avant la réalisation des calculs**

3

BIBLIOTHÈQUE

Notices de la méthode, vidéos explicatives, informations sur l'interprétation des résultats, ressources sur les cultures intermédiaires ➔ **Accès à la totalité des ressources après inscription**

4

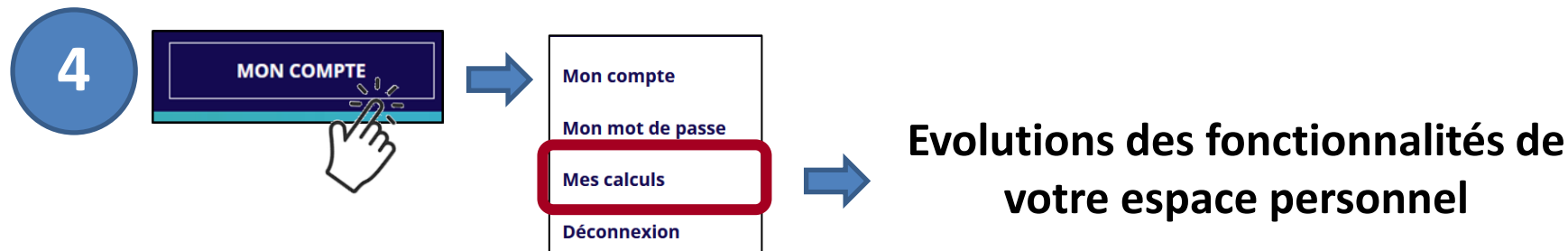
MON COMPTE



Mon compte
Mon mot de passe
Mes calculs
Déconnexion

Inscription à la plateforme, gestion de votre compte, accès à votre espace personnel regroupant tous vos calculs

Plateforme internet MERCI



TÉLÉCHARGER AU FORMAT EXCEL (LINEAIRE)

Date du calcul	Nom de la parcelle	Date du semis	Date de la mesure	
11/06/2025	Taizé3 (Copie)	12/09/2024	16/01/2025	ACTIONS ▾ Modifier le nom Dupliquer le calcul Export Excel Export PDF Supprimer
02/06/2025	non paturage_juin25	15/07/2024	15/11/2024	
02/06/2025	paturage_juin25	15/07/2024	15/11/2024	
17/01/2025	Taizé3	12/09/2024	16/01/2025	

Exporter en format linéaire de tous vos calculs

Renommer un calcul

Recharger un calcul
pour le modifier

Exporter un calcul

Plateforme internet MERCI – Interface de saisie



5

RÉALISER UN CALCUL



- Menu permettant la réalisation des calculs !
- Compléter les paramètres nécessaires aux calculs
👉 infobulles avec explications pour chaque paramètre
- Munissez vous de votre feuille de pesée

Contexte du calcul
(localisation, sol, dates, ...)

Valeurs de la pesée aux champs
(gramme/m²)

MERCI RÉALISER UN CALCUL RÉINITIALISER

Type de calcul ⓘ
☒ Données réelles ☐ Simulation

Méthode choisie ⓘ
☒ Biomasse Verte ☐ Biomasse Sèche

Nom de la parcelle

Pays ⓘ **Commune / Code Postal**
 France x

Contexte ⓘ
☒ Grandes Cultures / Elevage
☐ Culture pérenne (viticulture / arboriculture)
☐ Maraîchage / PPAM

Type de sol (Veuillez indiquer votre pays / commune) ⓘ

Réserve Utile du sol (RU en mm) ⓘ
☒ RU < 100 ☐ 100 < RU < 150 ☐ 150 < RU < 200 ☐ RU > 200

Devenir du couvert ⓘ
☒ Restitué ☐ Exporté ☐ Pâturé

Gestion des résidus ⓘ
☒ Enfouis ☐ Laissés en surface

Date de levée (ou semis) ⓘ **Date de la mesure** ⓘ

Surface occupée par le couvert ⓘ
 100 %

Espèce 1

N° de prélèvement

1	2	3

Biomasse aérienne verte (gramme)

Surface de prélèvement (m²)

Forcer le calcul avec l'état végétatif : ⓘ
☒ Calcul Automatique ☐ Floraison/Épiaison ☐ Sénescence

Supprimer cette espèce

AJOUTER UNE ESPÈCE + CALCULER


RÉALISER UN CALCUL

Type de calcul ⓘ

☒ Données réelles

☐ Simulation

Méthode choisie ⓘ

☒ Biomasse Verte

☐ Biomasse Sèche

Nom de la parcelle

Pays ⓘ

France

Commune / Code Postal

Contexte ⓘ

☒ Grandes Cultures / Elevage

☐ Culture pérenne (viticulture / arboriculture)

☐ Maraîchage / PPAM

Surface occupée par le couvert ⓘ

100

%

Type de sol (Veuillez indiquer votre pays / commune) ⓘ

Réserve Utile du sol (RU en mm) ⓘ

☒ RU < 100

☐ 100 < RU < 150

☐ 150 < RU < 200

☐ RU > 200

Devenir du couvert ⓘ

☒ Restitué

☐ Exporté

☐ Pâturé

Gestion des résidus ⓘ

☒ Enfouis

☐ Laissés en surface

Date de levée (ou semis) ⓘ

jj/mm/aaaa

Date de la mesure ⓘ

jj/mm/aaaa

N°	Descriptif du paramètre	Type	Statut	Valeur par défaut
1	Données réelles // Simulations	Case à cocher	Informatif	Données réelles
2	Option de calcul : - Biomasse Verte = à partir de biomasse verte - Biomasse Sèche = à partir de biomasse sèche (« sortie étuve »)	Case à cocher	Indispensable	Biomasse Verte
3	Identifiant de la parcelle, essai,	Texte	Informatif	./
4	Identifiant du pays (France indiquée par défaut)	Liste déroulante	Indispensable	France
5	Identifiant de la commune (nom ou code postal)	Texte ou code postal	Indispensable	./
6	Contexte	Case à cocher	Informatif	Grandes Cultures / Elevage
7	Surface du couvert (culture intermédiaire) en % de la surface de la parcelle	Nombre (%)	Indispensable	100 % pour les Grandes Cultures / Elevage
8	Choix du type de sol => liste incrémentée suite à la saisie de la commune (liste des sols régionaux fournie par Arvalis – Institut du végétal)	Liste déroulante	Indispensable	/
9	Indication sur la RU du sol choisi au n°8 (incrémentation automatique) => modifiable par utilisateur	Case à cocher	Indispensable	Incrémentation selon choix n°8
10	Devenir du couvert : 3 choix - restitué (engrais vert) - exporté (CIVE, pâturage) - pâturé	Case à cocher	Indispensable	Restitué
11	Gestion des résidus : 2 choix - Enfouis - Laissés en surface	Case à cocher	Indispensable	Enfouis
12	Indication des dates : - de levée (semis) du couvert - de réalisation de la mesure (destruction)	Dates	Indispensable	./

Utilisation du paramètre : « Surface occupée par le couvert »

- Constat d'une mauvaise utilisation de ce paramètre, normalement réservé à un semis partiel d'une parcelle (*vigne, arboriculture, ...*)
- Depuis 2025 : - ajout d'explications sous forme d'infobulles
- blocage de l'utilisation pour la filière « Grandes Cultures/Elevage »

☞ valeur à 100 % par défaut

Surface occupée par le couvert ⓘ

100 %

Espèce 1	N° de prélèvement		
	1	2	3
Biomasse aérienne verte (gramme)	g	g	g
Surface de prélèvement (m²)	m²	m²	m²

- Rappel : l'hétérogénéité du couvert est prise en compte par la réalisation de plusieurs prélèvements sur une parcelle

13

Espèce 1

N° de prélèvement

1

2

3

14

Biomasse aérienne verte (gramme)

g

15

Surface de prélèvement (m²)

m²

16

Forcer le calcul avec l'état végétatif :

☒ Calcul Automatique
 ☐ Floraison/Épiaison
 ☐ Sénescence

18

Supprimer cette espèce

17

AJOUTER UNE ESPÈCE +

19

CALCULER

N°	Descriptif du paramètre	Type	Statut	Valeur par défaut
13	Choix d'une espèce	Liste déroulante	Indispensable	./
14	Données sur les mesures au champ : poids (gramme) => possibilités de réaliser 3 mesures aux champs / répétitions	nombre	Indispensable	./
15	Surface de prélèvement en m²	nombre	Indispensable	./
16	Forcer le calcul avec l'état végétatif	Case à cocher	Indispensable	Calcul Automatique
17	Ajout d'une 1 espèce supplémentaire	./	Si besoin	./
18	Supprimer une espèce	./	Si besoin	./
19	Calculer	Clic	Indispensable	./

13

Choix d'une espèce

- 69 espèces paramétrées dans la méthode MERCI

- Des valeurs « moyennes » (par famille ou espèce) si difficulté d'identification

Fabacée	Poacée	Brassicacée
Fenugrec	Avoine blanche	Caméline
Féverole	Avoine commune hiver	Choux
Gesse	Avoine commune printemps	Colza
Lentille	Avoine rude	Moutarde Abyssinie
Lentille noirâtre	Blé tendre	Moutarde blanche
Lotier	Maïs	Moutarde brune
Lupin	Millet	Navet
Luzerne	Moha	Navette fourragère
Mélilot	Orge	Radis asiatique (chinois)
Minette	Ray-grass d'Italie	Radis fourrager
Pois fourrager	Ray-grass Anglais	Rave
Pois protéagineux	Ray-grass hybride	Repousses de colza
Repousses de légumineuses	Repousses de céréales	Roquette
Soja	Seigle classique/fourrager	Fausse roquette
Trèfle Alexandrie	Seigle multicaule/forestier	moyenne Brassicacées
Trèfle blanc	Sorgho	
Trèfle de Perse	Triticale	
Trèfle hybride	moyenne Poacées	
Trèfle incarnat		
Trèfle souterrain		
Trèfle violet		
Vesce commune hiver		
Vesce commune printemps		
Vesce de Panonie (Hongrie)		
Vesce Narbonne		
Vesce pourpre (Bengale)		
Vesce velue		
moyenne Trèfles		
moyenne Fabacées		

Astéracée
Carthame
Niger
Tournesol
moyenne Astéracée

Adventices
Adventices dicotylédones
Adventices monocotylédones
moyenne Adventices

Hydrophyllacée
Phacélie

Lamiacée
Chia

Linéacée
Lin

Polygonacée
Sarrasin

16

Critère sur physiologie de l'espèce

Exemple : moutarde blanche



Moutarde blanche

Utilisation « normale » de MERCI

Espece_MERCI	Famille	% Matière Sèche (MS)					
		< 60 j	60-90 j	90 < < 120 j	120 < < 180 j	180 < < 240 j	> 240 j
Moutarde blanche	brassicacée	15	17	17	20	25	35



Moutarde blanche fleurie

- Utilisation possible du critère « physiologique »
- Calcul réalisé avec une teneur en matière sèche plus élevée qu'avant floraison

Tous les calculs sont enregistrés dans une base de données (*inscrits ou non inscrits*)

Chaque utilisateur :

- Acceptation des conditions d'utilisation lors de la connexion (RGPD)
- Données anonymisées
- Données exploitables par la Chambre Régionale d'Agriculture Nouvelle Aquitaine

Type de données accessibles et valorisées

- Localisation, année, type de sol
- Espèces implantées, date semis/destruction
- Biomasse aérienne verte (données mesurées aux champs)
- Biomasse aérienne sèche (données calculées)
- Azote total piégé par les cultures intermédiaires
- Estimation de l'azote rapidement restitué à la culture suivante
- ...

2

Mode opératoire « au bureau »

Compréhension
&
Interprétation des résultats



Plateforme internet MERCI – Interface des résultats



RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT

Matière sèche aérienne	t/ha	Azote piégé total (Aérien + Racinaire)	kg/ha
1,9		65	

Biomasse aérienne
Piégeage total de l'azote

RESTITUTION RAPIDES DU COUVERT AU SOL (à partir de la date de mesure / destruction indiquée)

Azote (N)		Informations sur la dynamique de minéralisation					
23		9 Kg A 30 jours	5 Kg A 60 jours	3 Kg A 90 jours	3 Kg A 120 jours	3 Kg A 150 jours	Kg A 180 jours
Phosphore (P ₂ O ₅)		Potassium (K ₂ O)	Soufre (SO ₃)	Magnésium (MgO)			
10		65	5	5			

Restitutions rapides des
éléments fertilisants
disponibles pour la culture
suivante

VALORISATION DU COUVERT EN DÉROBÉE

Valeurs fourragères - Alimentation animaux		Méthanisation
UFL	MAT	Rendement en énergie (Nm ³ de CH ₄ / ha)
0,90	190	435

Indications sur les valeurs
fourragères et pouvoir
méthanogène

CONTRIBUTION AU STOCKAGE DE CARBONE DANS LE SOL

Carbone stable	t/ha	Evolution Matière Organique	t/ha
0,3		0,5	

Stockage carbone et
matière organique

Biomasse aérienne & stockage d'azote

RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT

Matière sèche aérienne

t/ha

1,9

Azote piégé total (Aérien + Racinaire)

kg/ha

65

Biomasse aérienne en tonnes de matière sèche par hectare (t MS/ha)

Biomasse racinaire est estimée et disponible dans les données complémentaires téléchargeables depuis votre espace personnel (t MS/ha)

Quantité totale d'azote contenue dans le couvert provenant du sol ou de l'atmosphère (fixation symbiotique) exprimée en kg par hectare

Suite à la destruction du couvert, les résidus vont libérer de l'azote par minéralisation :

- ⇒ 1 partie de l'azote sera minéralisée rapidement et disponible pour la culture suivante (*estimation MERCI diapo suivante*)
- ⇒ 1 partie sera minéralisée à moyen/long terme

**Minéralisation des résidus
de cultures intermédiaires**

Et

Libération rapide de l'azote

Minéralisation des résidus de CI et libération rapide de l'azote

RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT

Matière sèche aérienne

t/ha

1,9

Azote piégé total (Aérien + Racinaire)

kg/ha

65

1

Quantité totale d'azote
contenue dans le couvert

RESTITUTION RAPIDES DU COUVERT AU SOL (à partir de la date de mesure / destruction)

Azote (N)

kg/ha

23

2

Azote restitué rapidement suite
à la destruction du couvert

Informations sur la dynamique de minéralisation

9 Kg
A 30 jours

5 Kg
A 60 jours

3 Kg
A 90 jours

3 Kg
A 120 jours

3 Kg
A 150 jours

1 Kg
A 180 jours

3

Dynamique des restitutions rapides
en azote

La différence 1 - 2 sera libérée progressivement à hauteur de quelques % par an.

Minéralisation des résidus de CI et libération rapide de l'azote - Explications & Valorisations de la frise -

1

Quantité totale d'azote
contenue dans le couvert

XX kg d'azote
par hectare
piégé dans le
couvert
(parties aériennes
et racinaires)

2

Dans le cas d'un couvert restitué au sol

Azote restitué
rapidement
(1 à 6 mois) suite à
la destruction du
couvert

0 à ~ 55 % de l'azote contenu
dans la biomasse du couvert

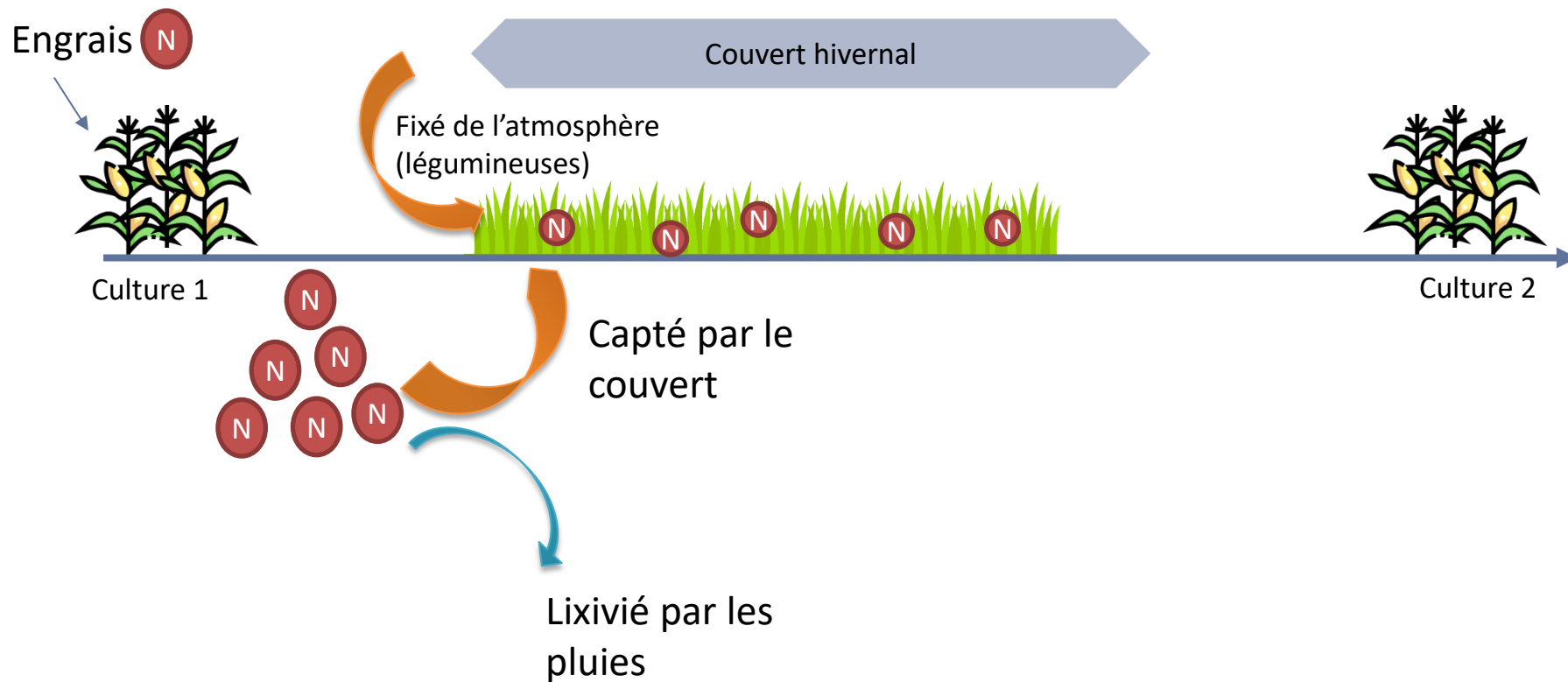
1 - 2

Azote intégré
dans différents
composants de la
matière organique
et restitué sur le
long terme
(~1 à 2 % / an)

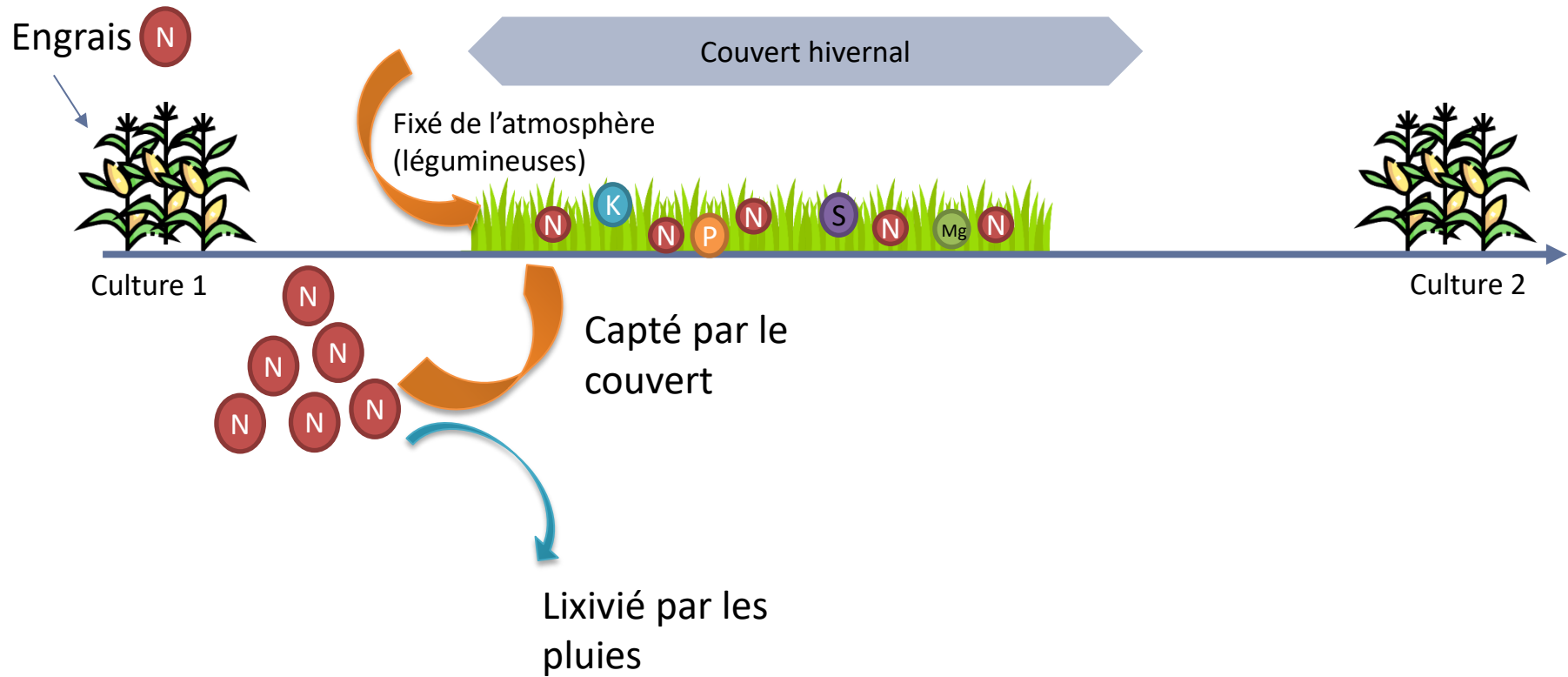
100 à 45 % de l'azote contenu
dans la biomasse du couvert

- ☞ « **Rien n'est perdu !** »
- ☞ Entretien du capital « sol » et investissement pour l'avenir !

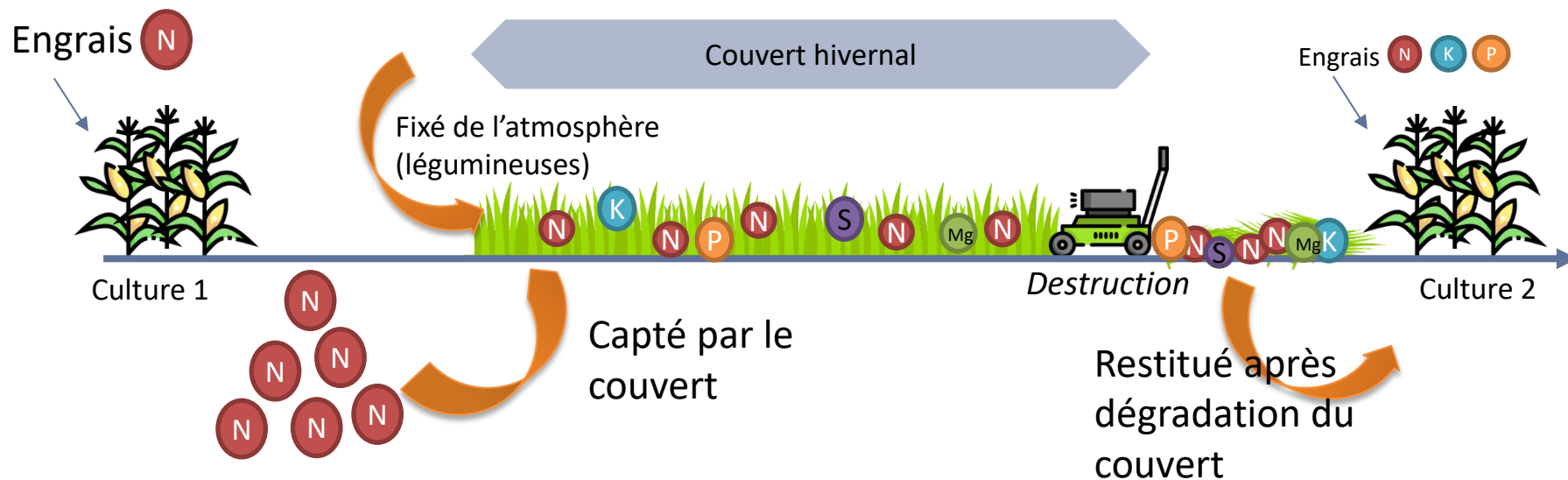
Intégration des résultats dans les calculs de fertilisation azotée des cultures



Intégration des résultats dans les calculs de fertilisation azotée des cultures



Intégration des résultats dans les calculs de fertilisation azotée des cultures



Après destruction, la minéralisation des résidus du couvert végétal peut apporter un « surplus ou non » d'azote à la culture suivante.

Cet effet, appelé « **Minéralisation des résidus de Cultures Intermédiaires** » (MrCI) doit être pris en compte lors du calcul du bilan prévisionnel en azote de la culture suivante.

Effet « fertilisant » variable selon :

- *Espèces présentes dans le couvert*
- *Biomasse atteinte*
- *Date de destruction*

Equation du bilan azoté (COMIFER)

$$R_f - R_i = [M_h + F_s + F_{ns} + M_{hp} + M_{rCi} + M_{pro1} + M_{pro2} + A + N_{irr} + X + X_{pro}] - [P_f - P_i + I_x + G_s + G_x + L]$$

Avec :

États initial et final	
R _f	Quantité d'azote minéral dans le sol à la fermeture du bilan
R _i	Quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan
Entrée d'azote dans le système sol-plante	
M _h	Minéralisation nette de l'humus du sol*
F _s	Fixation symbiotique d'azote atmosphérique par la culture
F _{ns}	Fixation non symbiotique d'azote atmosphérique
M _{hp}	Minéralisation nette due à un retournement de prairie
M _{rCi}	Minéralisation nette de résidus de culture intermédiaire
M _{pro1}	Minéralisation nette de l'azote organique d'un PRO n°1 apporté avant l'ouverture du bilan
M _{pro2}	Minéralisation nette de l'azote organique d'un PRO n°2 apporté après l'ouverture du bilan
A	Apports atmosphériques (apports météoriques = dépôts secs ou humides)
N _{irr}	Azote apporté par l'eau d'irrigation
X	Apport d'azote sous forme d'engrais minéral de synthèse
X _{pro}	Azote de la fraction minérale d'un PRO apporté après la date d'ouverture du bilan
Sorties d'azote du système sol-plante	
P _f	Quantité d'azote absorbé par la culture à la fermeture du bilan
P _i	Quantité d'azote absorbé par la culture à l'ouverture du bilan
I _x	Organisation par voie microbienne aux dépens de l'azote minéral apporté sous forme d'engrais de synthèse ou de fraction minérale du PRO
G _s	Pertes du sol par voie gazeuse (dénitrification pour l'essentiel)
G _x	Pertes par voie gazeuse (volatilisation, dénitrification) aux dépens de l'engrais minéral (X) et de la fraction minérale du PRO apporté après l'ouverture du bilan (X _{pro})
L	Pertes par lixiviation du nitrate pendant l'ouverture du bilan

Abaque couramment utilisé

MrCI	Production de la CI (tMS/ha)	Ouverture du bilan en sortie hiver		Ouverture du bilan en Avril*	
		Destruction Nov/dec	Destruction>Janv	Destruction Nov/dec	Destruction>Janv
CRUCIFERES (moutarde, radis, ...)	<= 1	5	10	0	5
	2 (>1 et <3)	10	15	5	10
	>= 3	15	20	10	15
GRAMINÉES DE TYPE SEIGLE, AVOINE, ...	<= 1	0	5	0	0
	2 (>1 et <3)	5	10	0	5
	>= 3	10	15	5	10
GRAMINÉES DE TYPE RAY-GRASS	<= 1	5	10	0	5
	2 (>1 et <3)	10	15	5	10
	>= 3	15	20	10	15
LÉGUMINEUSES	<= 1	10	20	5	10
	2 (>1 et <3)	20	30	10	20
	>= 3	30	40	20	30
HYDROPHYLLACEES (Phacélie)	<= 1	0	5	0	0
	2 (>1 et <3)	5	10	0	5
	>= 3	10	15	5	10
MÉLANGES GRAMINÉES - LÉGUMINEUSES	<= 1	5	13	3	5
	2 (>1 et <3)	13	20	5	13
	>= 3	20	28	13	20
MÉLANGES CRUCIFÈRES - LÉGUMINEUSES	<= 1	8	15	3	8
	2 (>1 et <3)	15	23	8	15
	>= 3	23	30	15	23

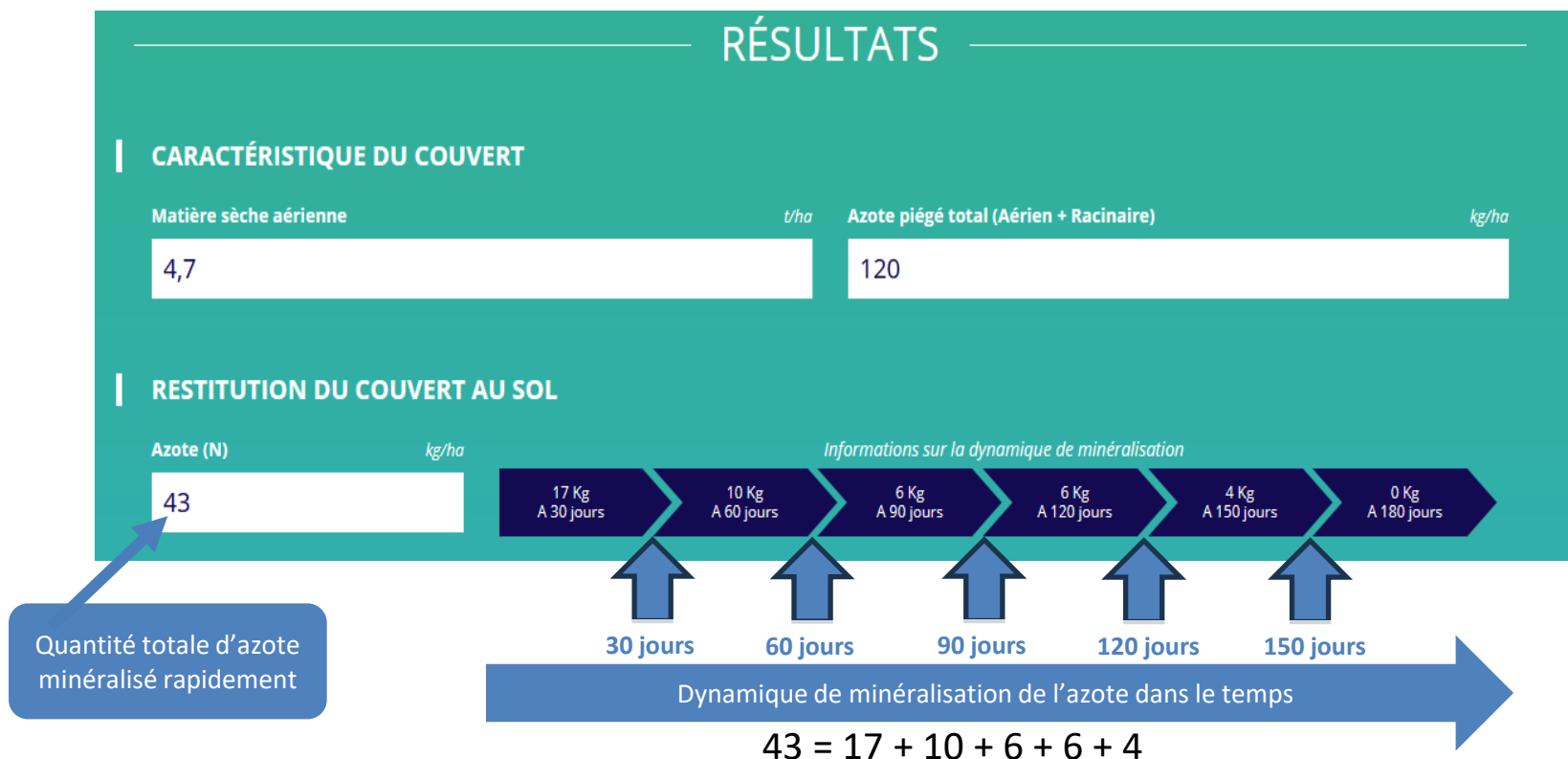
* Date d'ouverture du bilan dans certains cas pour des cultures d'été (Maïs, Pomme de Terre)

Source: Brochure "Cultures Intermédiaires - Impacts et Conduite", ARVALIS/CETIOM/ITB/ITI, août 2011 (chapitre 17)

La méthode MERCI permet de calculer, plus précisément, la quantité d'azote minéral ($kg\ N/ha$) provenant de la minéralisation du couvert végétal entre l'ouverture et la fermeture du bilan.

L'intégration dépend des dates d'ouverture du bilan (terme « R_i » correspondant souvent à la réalisation d'un reliquat ou estimation de la quantité d'azote présente dans le sol)

Valorisation de la « frise » de minéralisation des résidus de cultures



La frise et la connaissance de la vitesse de minéralisation permet :

- ⇒ ne pas comptabiliser deux fois l'azote issu de la minéralisation des résidus
- ⇒ « retrancher » toute ou partie de la quantité d'azote annoncée par la méthode MERCI si la destruction du couvert intervient en amont de l'ouverture du bilan.

Intégration des résultats dans les calculs de fertilisation azotée des cultures

Exemple 1.

Précédent : blé tendre

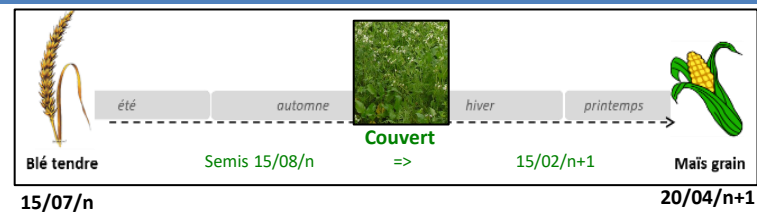
Culture suivante : maïs grain

Culture intermédiaire : avoine fourragère (*strigosa*) + vesce commune hiver

Biomasse atteinte par le couvert : 4.7 tonnes de MS/ha

Date de destruction du couvert végétal : 15/02

Semis culture suivante : Maïs - 20/04

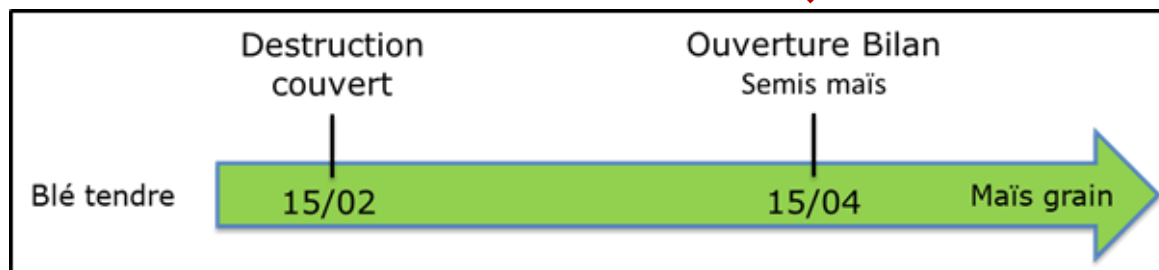


RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT	
Matière sèche aérienne t/ha	Azote piégé total (Aérien + Racinaire) kg/ha
4,7	120

RESTITUTION DU COUVERT AU SOL	
Azote (N) kg/ha	Informations sur la dynamique de minéralisation
43	17 Kg A 30 jours 10 Kg A 60 jours 6 Kg A 90 jours 6 Kg A 120 jours 4 Kg A 150 jours 0 Kg A 180 jours

Réalisation d'un prélèvement de sol pour réaliser 1 reliquat azoté
(= quantité d'azote dans le sol)



Intégration des résultats dans les calculs de fertilisation azotée des cultures

Exemple 1.

Précédent : blé tendre

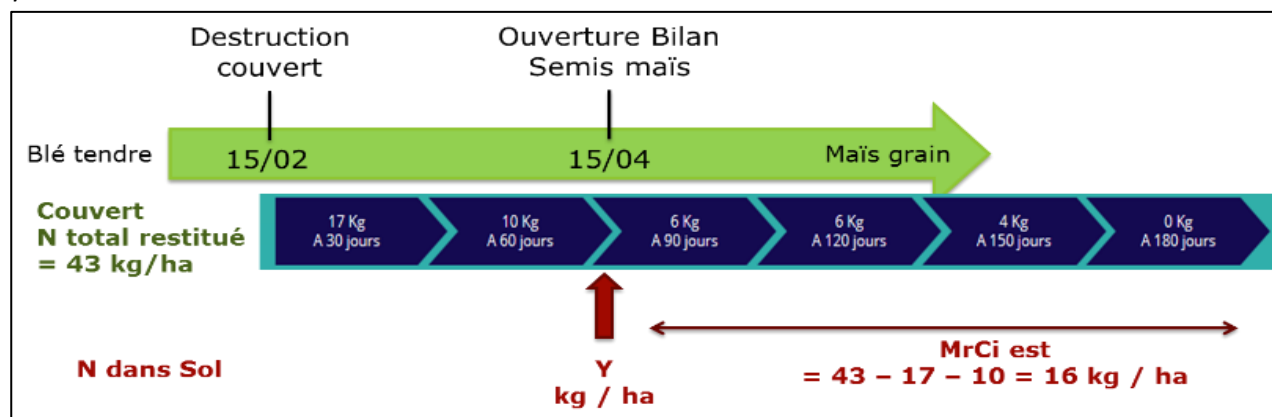
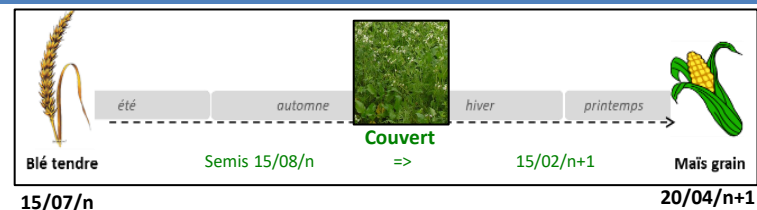
Culture suivante : maïs grain

Culture intermédiaire : avoine fourragère (*strigosa*) + vesce commune hiver

Biomasse atteinte par le couvert : 4.7 tonnes de MS/ha

Date de destruction du couvert végétal : 15/02

Semis culture suivante : Maïs - 20/04



Au 20/04, soit environ 60 jours après destruction du couvert, 17 + 10 soit 27 kg N/ha ont déjà été restitués lors de la minéralisation des résidus. Cette valeur est prise en compte dans la mesure du reliquat (*reliquat d'ouverture du bilan* = R_i). Il ne reste donc que 16 kg N/ha ($43 - 27 = 16$) qui sera minéralisé au cours de la croissance du maïs. Le **supplément d'azote** fourni par la minéralisation de cette culture intermédiaire au maïs ($MrCi$) est donc de 16 kg N/ha.

Intégration des résultats dans les calculs de fertilisation azotée des cultures

Exemple 2.

Précédent : blé tendre

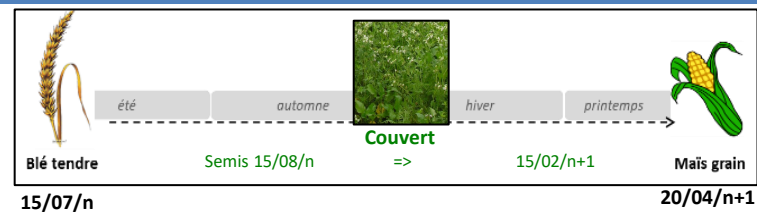
Culture suivante : maïs grain

Culture intermédiaire : avoine fourragère (*strigosa*) + vesce commune hiver

Biomasse atteinte par le couvert : 4.7 tonnes de MS/ha

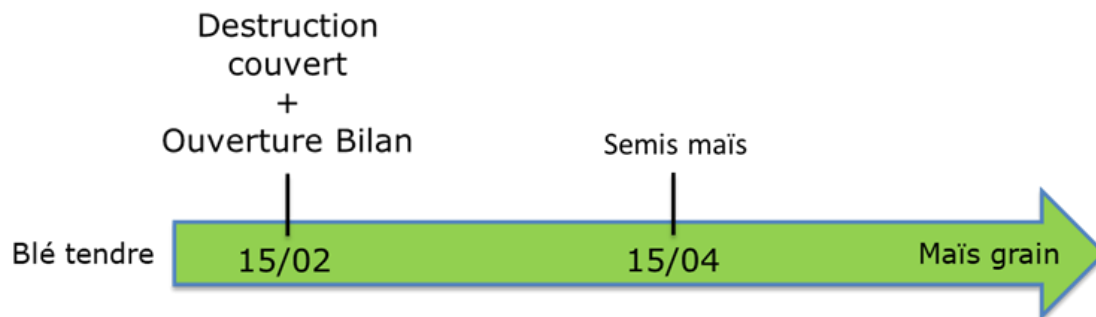
Date de destruction du couvert végétal : 15/02

Semis culture suivante : Maïs - 20/04



RÉSULTATS	
CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT	
Matière sèche aérienne t/ha	Azote piégé total (Aérien + Racinaire) kg/ha
4,7	120
RESTITUTION DU COUVERT AU SOL	
Azote (N) kg/ha	Informations sur la dynamique de minéralisation
43	17 Kg A 30 jours 10 Kg A 60 jours 6 Kg A 90 jours 6 Kg A 120 jours 4 Kg A 150 jours 0 Kg A 180 jours

Dans ce même exemple, l'ouverture du bilan est **réalisée le 15/02** à la date de destruction du couvert végétal.



Intégration des résultats dans les calculs de fertilisation azotée des cultures

Exemple 2.

Précédent : blé tendre

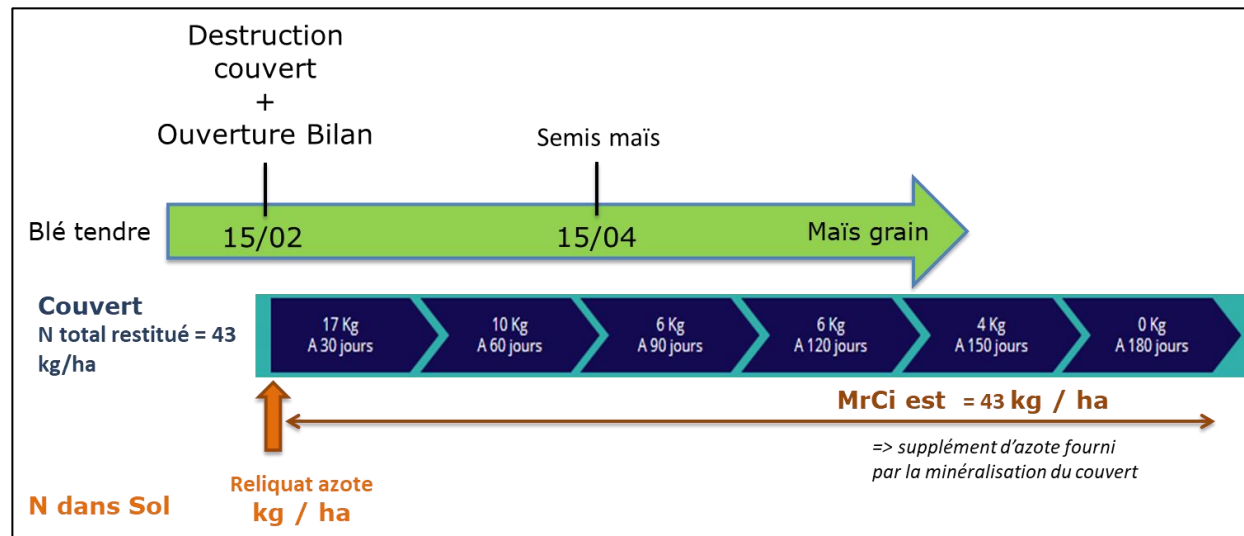
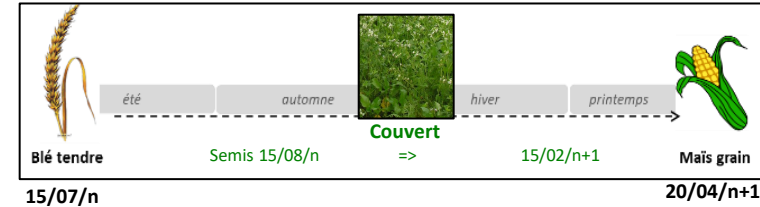
Culture suivante : maïs grain

Culture intermédiaire : avoine fourragère (*strigosa*) + vesce commune hiver

Biomasse atteinte par le couvert : 4.7 tonnes de MS/ha

Date de destruction du couvert végétal : 15/02

Semis culture suivante : Maïs - 20/04



L'ouverture du bilan est réalisée à la date de destruction du couvert, donc avant la restitution en azote provenant de la minéralisation des résidus du couvert. Dans ce cas, le supplément d'azote fourni par la minéralisation de cette culture intermédiaire au maïs grain (MrCi) est la valeur annoncée par la méthode MERCI, soit **43 kg N/ha**.

**Minéralisation des résidus
de cultures intermédiaires**

Et

**Libération de phosphore, potassium,
soufre et magnésium**

Minéralisation des résidus de CI et libération de phosphore, potassium,

RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT

Matière sèche aérienne

t/ha

Azote piégé total (Aérien + Racinaire)

kg/ha

1,9

65

RESTITUTION RAPIDES DU COUVERT AU SOL (à partir de la date de mesure / destruction indiquée)

Phosphore (P_2O_5)

kg/ha

Potassium (K_2O)

kg/ha

Soufre (SO_3)

kg/ha

Magnésium (MgO)

kg/ha

10

65

5

5

Quantités d'éléments minéraux restituées rapidement suite à la destruction du couvert et disponible pour la culture suivante (exprimées en kg par hectare)



Contrairement à l'azote et au soufre

- ⇒ P, K peu soumis à lessivage
- ⇒ Remobilisation des stocks contenus dans le sol (rendus « biodisponible »)
- ⇒ Réaliser une analyse de sol tous les 4-5 ans pour estimer le stock disponible

3

Exemples de calculs avec MERCI



Exemple 1. Destruction d'un couvert à 2 dates différentes

Couvert végétal

- Phacélie (4 kg/ha) + féverole d'hiver (110 kg/ha)
- semis : 25/07/2019 => date de levée : 15/08/2019
- Lieu : Lusignan (86600)
- sol : Limon sain sur argile (Terres Rouge à Châtaigniers) – RU 125 mm
- résidus restitués et enfouis

2 dates de destruction

15/01/2020

- Phacélie : 650 g/m²
- Féverole d'hiver : 800 g/m²

15/03/2020

- Phacélie : 1050 g/m²
- Féverole d'hiver : 3000 g/m²

RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT

Matière sèche aérienne	t/ha	Azote piégé total (Aérien + Racinaire)	kg/ha
2,2		75	

RESTITUTION DU COUVERT AU SOL

Azote (N)	kg/ha	Informations sur la dynamique de minéralisation					
38		22 Kg A 30 jours	4 Kg A 60 jours	4 Kg A 90 jours	4 Kg A 120 jours	4 Kg A 150 jours	0 Kg A 180 jours
Phosphore (P ₂ O ₅)	kg/ha	Potassium (K ₂ O)	kg/ha	Soufre (SO ₃)	kg/ha	Magnésium (MgO)	kg/ha
10		60		5		10	

VALORISATION DU COUVERT EN DÉROBÉE

Valeurs fourragères - Alimentation animaux

UFL	MAT	g/kg ou kg/t
0,84	205	

Méthanisation

Rendement en énergie (Nm ³ de CH ₄ / ha)
500

CONTRIBUTION AU STOCKAGE DE CARBONE DANS LE SOL

Carbone stable	t/ha	Evolution Matière Organique	t/ha
0,3		0,5	

RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT

Matière sèche aérienne	t/ha	Azote piégé total (Aérien + Racinaire)	kg/ha
7,2		205	

RESTITUTION DU COUVERT AU SOL

Azote (N)	kg/ha	Informations sur la dynamique de minéralisation					
81		20 Kg A 30 jours	20 Kg A 60 jours	21 Kg A 90 jours	10 Kg A 120 jours	10 Kg A 150 jours	0 Kg A 180 jours
Phosphore (P ₂ O ₅)	kg/ha	Potassium (K ₂ O)	kg/ha	Soufre (SO ₃)	kg/ha	Magnésium (MgO)	kg/ha
45		200		20		25	

VALORISATION DU COUVERT EN DÉROBÉE

Valeurs fourragères - Alimentation animaux

UFL	MAT	g/kg ou kg/t
0,85	160	

Méthanisation

Rendement en énergie (Nm ³ de CH ₄ / ha)
1 655

CONTRIBUTION AU STOCKAGE DE CARBONE DANS LE SOL

Carbone stable	t/ha	Evolution Matière Organique	t/ha
1,0		1,7	

Exemple 2. Couvert à C/N élevé - Résidus enfouis ou laissés en surface

Couvert végétal

- Avoine commune d'hiver (80 kg/ha)
- semis : 20/08/2019 => date de levée : 01/09/2019
- Lieu : Lusignan (86600)
- sol : Limon sain sur argile (Terres Rouge à Châtaigniers) – RU 125 mm
- biomasse aérienne du couvert : 5 tonnes MS/ha
- C/N biomasse aérienne : 25 ; C/N biomasse racinaire : 34

1 date de destruction : 01/04/2020 – 2 modalités de gestion des résidus

Résidus enfouis

RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT

Matière sèche aérienne	t/ha	Azote piégé total (Aérien + Racinaire)	kg/ha
5,0		100	

RESTITUTION DU COUVERT AU SOL

Azote (N)	kg/ha	Informations sur la dynamique de minéralisation					
14		-15 Kg A 30 jours	10 Kg A 60 jours	10 Kg A 90 jours	5 Kg A 120 jours	5 Kg A 150 jours	0 Kg A 180 jours

Résidus laissés en surface

RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT

Matière sèche aérienne	t/ha	Azote piégé total (Aérien + Racinaire)	kg/ha
5,0		100	

RESTITUTION DU COUVERT AU SOL

Azote (N)	kg/ha	Informations sur la dynamique de minéralisation					
35		12 Kg A 30 jours	10 Kg A 60 jours	6 Kg A 90 jours	3 Kg A 120 jours	3 Kg A 150 jours	0 Kg A 180 jours

4

Limites d'utilisation de la méthode MERCI Domaine de validité



Domaine de validité

- MERCI est un « indicateur » => estimation rapide
- MERCI = « valorisation » d'une base de données « terrain » (~18 000 références, : **valeurs médianes pour % MS, % N, par espèces !**
 - ☞ *variations possibles selon contexte année (pluie), sol, dispo en N*
 - ☞ *variations possible selon la variété (ex. moutarde blanche),*
- MERCI : estimation des « risques de lixiviation » sur 24 contextes pédoclimatiques sur 20 années sur 4 sols x 4 RU (16 situations x 20 ans)
 - ☞ *valeurs médianes de lixiviation par situation*
 - ☞ *variation selon « situations climatiques anormales »*

L'utilisateur de MERCI doit toujours conserver un « sens critique » vis-à-vis des résultats fournis.

Qualité des résultats obtenus dépendante : **surface prélevée et répétitions**

- surface de prélèvement : **placette de 1 m² conseillée**

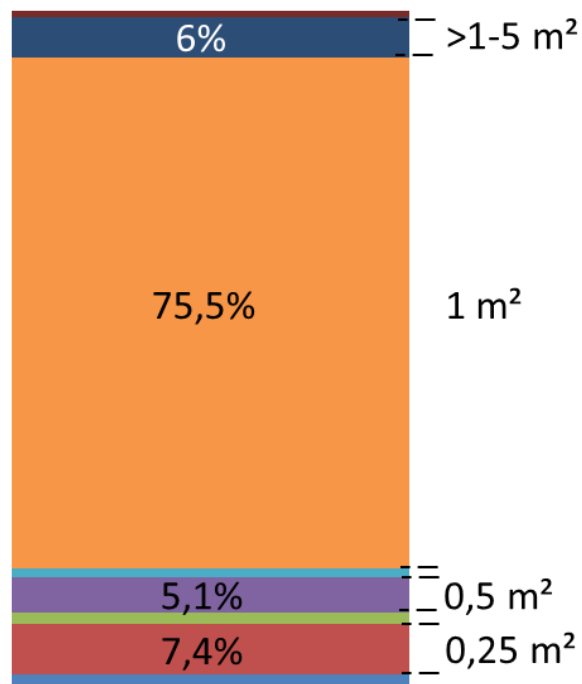


- nombre de répétitions intra-parcellaires : **2 à 3 si le couvert est hétérogène**

Qualité des résultats obtenus dépendante : **surface prélevée et répétitions**

Ce que font les utilisateurs de la méthode MERCI....

Surfaces saisies dans la base de données MERCI



- La pratique majoritaire (75 %) : **1 m²**
- 12 % : surface de 0.25 et 0.5 m²
- 6 % : surface de 2, 3, 4 ou 5 m² (*placette*)

 → 93 % avec surfaces définies

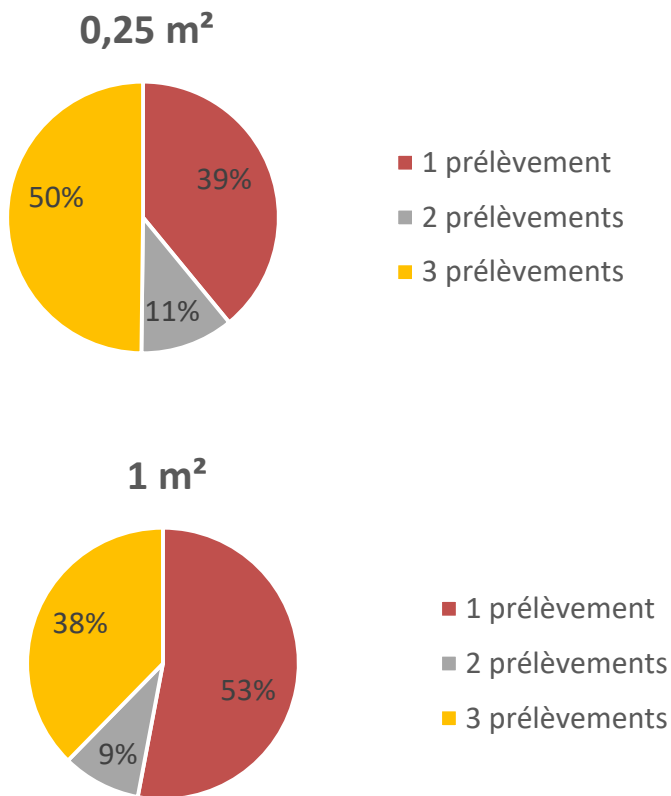
Quelques % avec surface surprenante :

- 0,8 ; 0,06 ; 0,005 m², ... => **erreurs de saisie ?**
- 10 000 m² => **parcelle entière, récolte machine ?**

Calculs réalisés sur la plateforme du 20/11/20 au 04/06/24

Qualité des résultats obtenus dépendante : **surface prélevée et répétitions**

Ce que font les utilisateurs de la méthode MERCI....



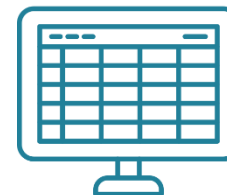
Les utilisateurs font plus de répétitions lorsqu'ils prélèvent sur des surface plus petites

Qualité des résultats obtenus dépendante : **surface prélevée et répétitions**

**Quelle surface de prélèvement recommander ?
Le risque d'erreur est-il plus grand en prélevant 0,25 m² plutôt que 1 m² ?**



Comparaison des biomasses estimées
à partir de pesées réalisées
sur 0,25 m², 0,5 m² ou 1 m²

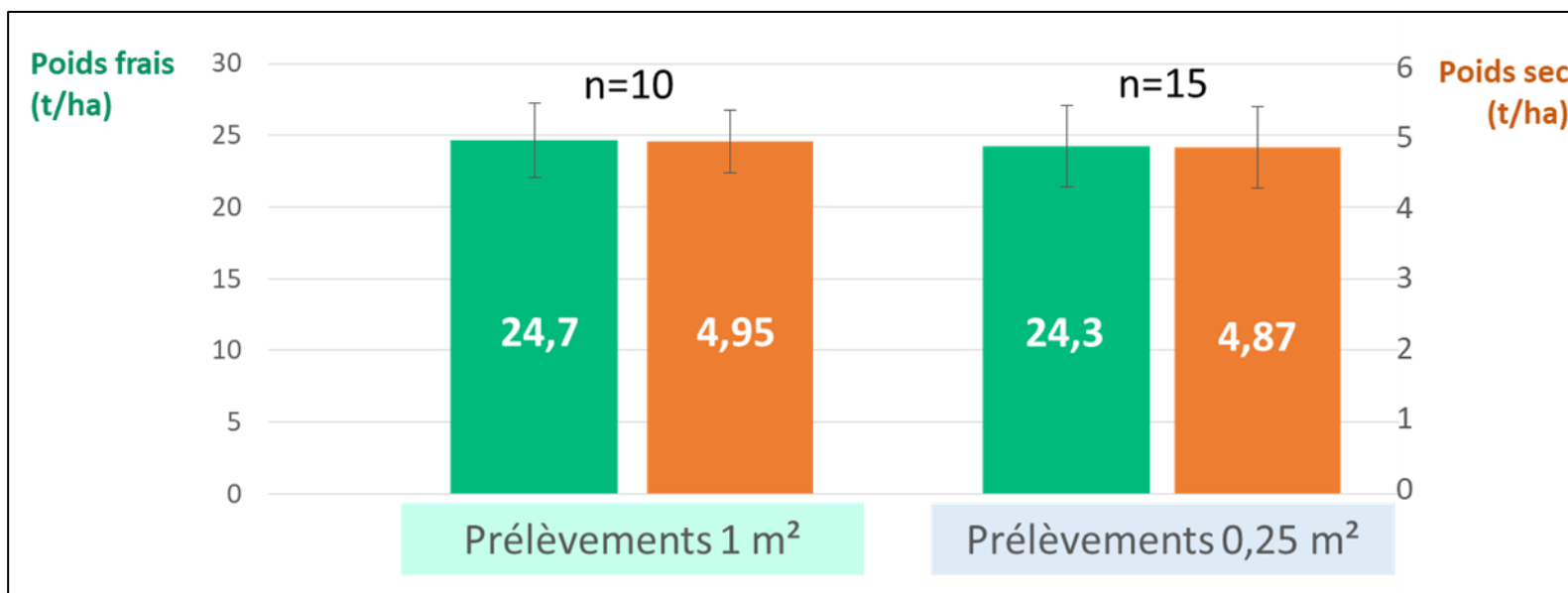


Calcul de variabilité des pesées
fraîches en fonction de la
surface de prélèvement

Qualité des résultats obtenus dépendante : **surface prélevée et répétitions**

**Quelle surface de prélèvement recommander ?
Le risque d'erreur est-il plus grand en prélevant 0,25 m² plutôt que 1 m² ?**

- Retour sur 1 test réalisé en 2024
- Couvert prélevé : repousses avoine, vesce commune hiver, trèfle incarnat

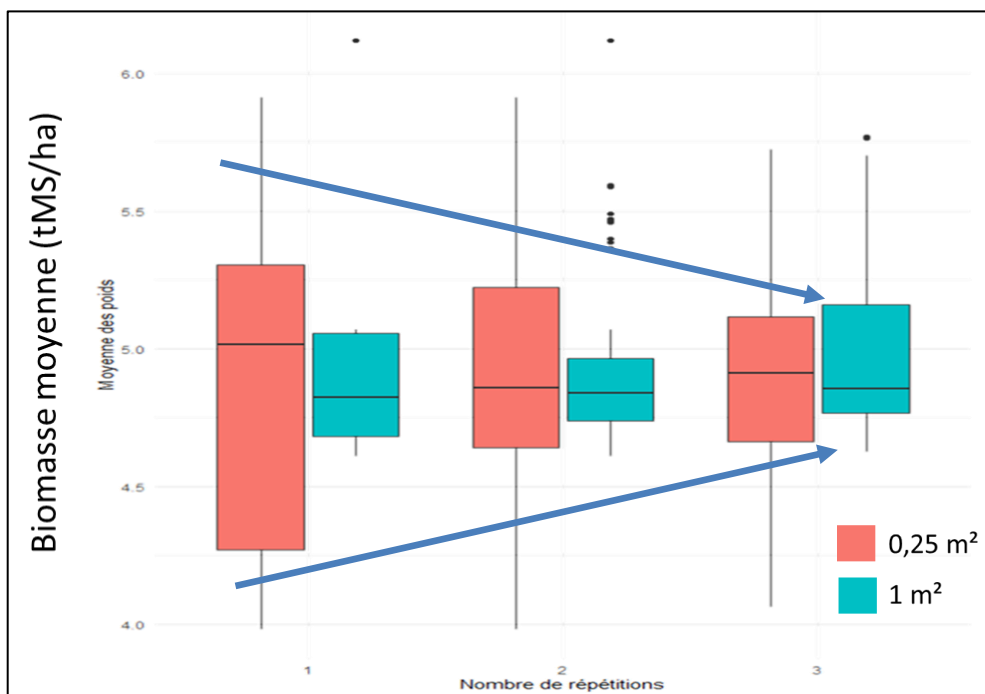


☞ En moyenne, pas de différence significative observée mais avec nombre important de répétitions

Qualité des résultats obtenus dépendante : **surface prélevée et répétitions**

**Quelle surface de prélèvement recommander ?
Le risque d'erreur est-il plus grand en prélevant 0,25 m² plutôt que 1 m² ?**

- Retour sur 1 test réalisé en 2024
- Couvert prélevé : repousses avoine, vesce commune hiver, trèfle incarnat



Sur test 2024 :

- ☞ Biomasse moyenne « stable » pour une surface prélevée de 1 m² avec 1, 2 ou 3 répétitions
- ☞ Pour limiter l'erreur/réduire l'écart et obtenir le même résultat, réaliser a minima 3 répétitions si surface prélevée égale à 0,25 m²

Traitement statistique

(simulation 1000 tirages de 1, 2 ou 3 pesées avec 0,25 ou 1 m² parmi les pesées réelles)

Qualité des résultats obtenus dépendante : **ressuyage des couverts végétaux !**

Couvert végétal non ressuyé lors du prélèvement

= **« sur-estimation »** de la biomasse verte

Que faire si prélèvement en conditions non « ressuyées »

- S'abstenir et attendre les beaux jours
- Passer à l'étuve toute la surface prélevée (*72 heures à 60 °C*)

Solutions avec une « fiabilité dégradée » des résultats (*non préconisée*) :

- Avant pesée « en vert », mettre une nuit complète sur du papier journal dans une pièce sèche pour laisser « égoutter », puis réaliser une pesée de la biomasse aérienne verte (« poids brut »)
- Si pesée « humide » aux champs, secouer les végétaux et retirer **~ 40 %** du poids de la biomasse aérienne verte (« poids brut »)

Fiabilité
du prélèvement



Exemples de prélèvements réalisés juste après une pluie = conditions non ressuyées

☞ *comparaison des valeurs de biomasses sèches obtenues :*

« **MERCI en conditions non pertinentes** » comparé à « **Etuve** (70 h à 60°C) »

Cas 1. St Paul en Gâtine (79) sur limon sableux sur schiste
 12 mars 2024 sur couvert : *avoine commune, triticale, vesce velue, trèfle squarosum*

Placettes (1 m ²)	ETUVE	MERCI utilisé en conditions non ressuyées
Placette 1	1,6	2,1
Placette 2	1,4	1,6
Placette 3	1,9	2,2
moyenne des 3 placettes	1,6	2,0

Différence de **19 % à retirer**

Vesce velue retient beaucoup l'eau

Cas 2. St Saturnin les bois (17) sur alluvions limono-argileux
 27 mars 2024 sur couvert : *féverole, seigle, vesce commune, trèfle incarnat*

Placettes (1 m ²)	ETUVE	MERCI utilisé en conditions non ressuyées
Placette	3,1	5
moyenne des 3 placettes	3,1	5,0

Différence de **38 % à retirer**

Vesce commune retient beaucoup l'eau, mais également la féverole et le trèfle incarnat



Estimation rapide de la biomasse aérienne au champ

Deux approches :

- Estimation visuelle
- Mesure de la hauteur du couvert

Avertissement

Ces autres méthodes sont présentées dans ce document, mais constituent souvent des méthodes moins précises que la réalisation d'une pesée MERCI. Cependant, elles sont plus rapides à réaliser.

Estimation visuelle

- Très délicat d'estimer une biomasse aérienne sèche

Hauteur

- Les référentiels, par exemple, pour l'estimation à partir de la hauteur, n'existe pas pour toutes les espèces ou mélange d'espèces.

1. Estimation à partir de photographies



Bretagne
10/10/2023
Moutarde Blanche
0,6 tonnes MS/ha

© LOREE, INRAE



Bretagne
25/10/2023
Ray-grass, trèfle
2,7 tonnes MS/ha

© LE GUILLOU



Bretagne
26/09/2023
Moutarde blanche,
phacélie, sarrasin
2,5 tonnes MS/ha

© MORIN



Bretagne
01/02/2024
Ray-grass, trèfle
2,4 tonnes MS/ha

© LE GUILLOU

1. Estimation à partir de photographies



Bretagne
12/10/2023
Phacélie, radis
2,3 tonnes MS/ha

©LOREE, INRAE



Vienne
8/12/2017
Phacélie, radis four.
4,2 tonnes MS/ha

©MINETTE, CRANA



Bretagne
6/12/2023
Phacélie
3,7 tonnes MS/ha

©GAILLARD, INRAE



Vienne
8/12/2017
Moutarde Abyssinie
3 tonnes MS/ha

©MINETTE, CRANA

1. Estimation à partir de photographies



Vienne
12/11/20214
Moutarde blanche
5,4 tonnes MS/ha

© MINETTE, CRANA

1. Estimation à partir de photographies

Exemple : repousses de colza



Biomasse aérienne : 0,2 à 0,5 t MS/ha
N piégé partie aérienne : 5-10 kg/ha



Biomasse aérienne : 0,5 à 1 t MS/ha
N piégé partie aérienne : 15-20 kg/ha



Biomasse aérienne : 1 à 1,5 t MS/ha
N piégé partie aérienne : 35-40 kg/ha



Biomasse aérienne : 1,5 à 2,5 t MS/ha
N piégé partie aérienne : 50-70 kg/ha



Biomasse aérienne : 2,5 à 3,5 t MS/ha
N piégé partie aérienne : 100-140 kg/ha



Biomasse aérienne : > 3,5 t MS/ha
N piégé partie aérienne : ./

2. Estimation à partir de la hauteur du couvert

Contexte

La base de données constitutive de la méthode MERCI a permis d'établir des relations entre la hauteur (cm) de certaines espèces de cultures intermédiaires et la biomasse aérienne produite en tonne de matière sèche par hectare (tonne MS/ha). Cette méthode d'estimation de la biomasse est séduisante par sa rapidité de mise en œuvre. Cependant, elle n'est utilisable que pour certaines espèces semées « en pur » et les coefficients de corrélation varient de « moyennement fiable » à fiable. La méthode par prélèvement au champ reste la méthode la plus précise.



Hauteur
du couvert

Abaques

Hauteur (cm)	Espèce	Biomasse aérienne sèche (tonnes MS/ha)						
		Avoine commune	Avoine strigosa	colza hiver	Féverole (semencière)	Moutarde blanche	Radis fourrager	Phacélie
10		0,6		0,7	0,4	0,3		
15		0,9	0,51		0,6			
20		1,2	0,75	1,0	0,8	0,5	1,2	0,9
25		1,5	0,98	1,3	0,8	0,5	1,2	1,2
30		1,8	1,19	1,6	1,0	0,6	1,5	1,5
35		2,0	1,40	1,9	1,2	0,8	1,9	1,8
40		2,3	1,59	2,2	1,5	0,9	2,2	2,0
45		2,5	1,77	2,5	1,7	1,1	2,5	2,2
50		2,7	1,94	2,8	1,9	1,2	2,8	2,4
55		2,9	2,10	3,0	2,1	1,4	3,0	2,7
60		3,1	2,25	3,2	2,2	1,6	3,2	3,0
65		3,3	2,38	3,5	2,4	1,7	3,4	3,3
70		3,5	2,51	3,7	2,7	1,9	3,6	3,5
75		X	2,62	3,9	2,9	2,1	3,8	3,7
80		X	2,72	4,1	3,2	2,2	4,0	4,0
85		X	2,81	4,3	3,5	2,4	4,2	4,2
90		X	2,89	4,5	3,8	2,6	4,4	4,4
95		X	2,95	4,7	4,0	2,8	4,6	4,6
100		X	3,01	4,9	4,2	3,0	4,8	4,8
105		X	3,05	5,1	4,4	3,2	5,0	5,0
110		X	3,08	5,2	4,5	3,3	5,1	5,1
115		X	3,10	5,3	4,6	3,4	5,2	5,2
120		X	3,11	5,4	4,7	3,5	5,3	5,3
125		X	3,11	5,5	4,8	3,6	5,4	5,4
130		X	X	5,6	4,9	3,7	5,5	5,5
135		X	X	5,7	5,0	3,8	5,6	5,6
140		X	X	5,8	5,1	3,9	5,7	5,7
145		X	X	5,9	5,2	4,0	5,8	5,8
150		X	X	6,0	5,3	4,1	5,9	5,9
155		X	X	6,1	5,4	4,2	6,0	6,0
160		X	X	6,2	5,5	4,3	6,1	6,1
165		X	X	6,3	5,6	4,4	6,2	6,2
170		X	X	6,4	5,7	4,5	6,3	6,3
175		X	X	6,5	5,8	4,6	6,4	6,4
180		X	X	6,6	5,9	4,7	6,5	6,5
185		X	X	6,7	6,0	4,8	6,6	6,6
190		X	X	6,8	6,1	4,9	6,7	6,7
195		X	X	6,9	6,2	5,0	6,8	6,8
200		X	X	7,0	6,3	5,1	6,9	6,9
205		X	X	7,1	6,4	5,2	7,0	7,0
210		X	X	7,2	6,5	5,3	7,1	7,1
215		X	X	7,3	6,6	5,4	7,2	7,2
220		X	X	7,4	6,7	5,5	7,3	7,3
225		X	X	7,5	6,8	5,6	7,4	7,4
230		X	X	7,6	6,9	5,7	7,5	7,5
235		X	X	7,7	7,0	5,8	7,6	7,6
240		X	X	7,8	7,1	5,9	7,7	7,7
245		X	X	7,9	7,2	6,0	7,8	7,8
250		X	X	8,0	7,3	6,1	7,9	7,9
255		X	X	8,1	7,4	6,2	8,0	8,0
260		X	X	8,2	7,5	6,3	8,1	8,1
265		X	X	8,3	7,6	6,4	8,2	8,2
270		X	X	8,4	7,7	6,5	8,3	8,3
275		X	X	8,5	7,8	6,6	8,4	8,4
280		X	X	8,6	7,9	6,7	8,5	8,5
285		X	X	8,7	8,0	6,8	8,6	8,6
290		X	X	8,8	8,1	6,9	8,7	8,7
295		X	X	8,9	8,2	7,0	8,8	8,8
300		X	X	9,0	8,3	7,1	8,9	8,9

Plateforme
MERCi



2. Estimation à partir de la hauteur du couvert

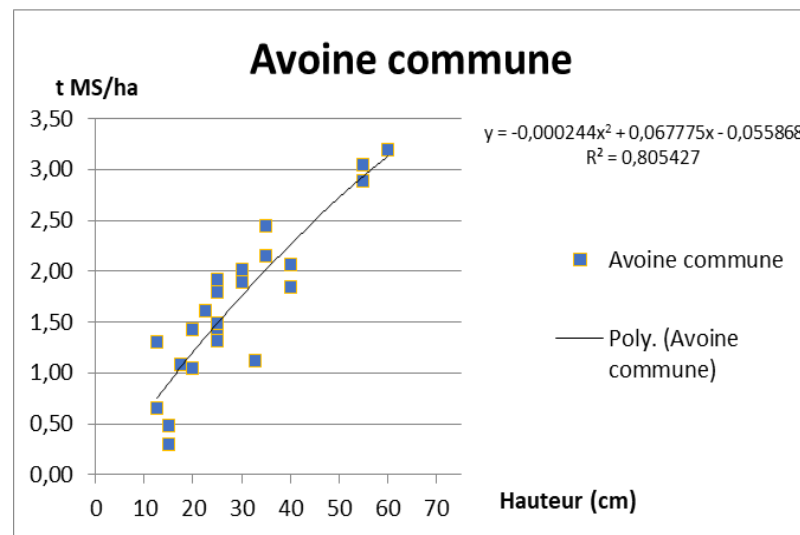
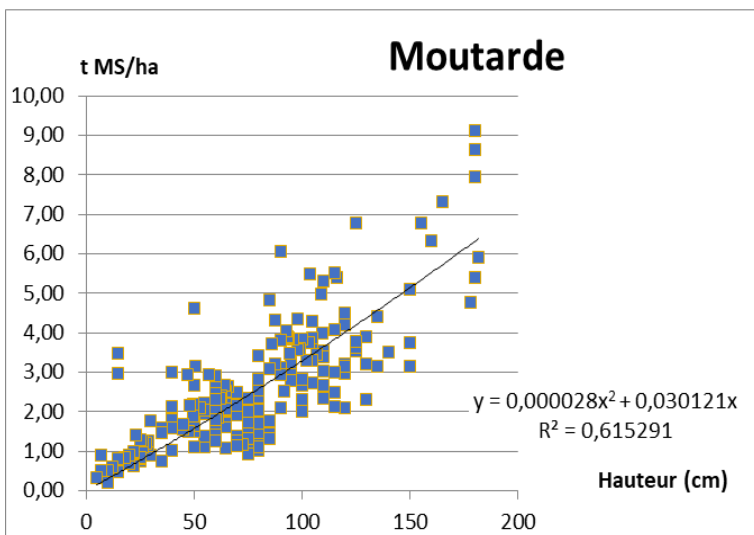
Exemples

Courbes de tendance

(établies à partir des valeurs de la base de données constitutive de MERCI)

Espèce	Nombre valeurs	Equation retenue	R ²	Fiabilité
Avoine commune	23	$Y = -0,000244 * X^2 + 0,067775 * X - 0,055868$	0,8054	bonne
Avoine strigosa	104	$Y = -0,000230 * X^2 + 0,053522 * X$	0,632	moyenne
colza hiver	12	$Y = -0,000215 * X^2 + 0,070798 * X$	0,7291	bonne
Féverole (ptps/hiver)	49	$Y = 0,000120 * X^2 + 0,037289 * X$	0,5263	moyenne
Moutarde blanche	201	$Y = 0,000028 * X^2 + 0,030121 * X$	0,6153	moyenne
Radis fourrager	79	$Y = -0,000413 * X^2 + 0,085205 * X$	0,5094	moyenne
Phacélie	56	$Y = -0,000091 * X^2 + 0,063058 * X$	0,5273	moyenne
Seigle commun	12	$Y = -0,000844 * X^2 + 0,116430 * X$	0,7262	bonne

fiabilité : faible < 0,50 ; moyenne 0,50 - 0,7 ; bonne > 0,7



2. Estimation à partir de la hauteur du couvert

Abaques d'estimation de la matière sèche produite en tonnes par hectare (tonnes MS/ha)

Biomasse aérienne en tonnes de MS / ha



gramme de matière sèche pour 1 m²



		Biomasse aérienne sèche (tonnes MS/ha)						
Espèce		Avoine commune	Avoine strigosa	colza hiver	Féverole (pts/hiver)	Moutarde blanche	Radis fourrager	Phacélie
Hauteur (cm)								Seigle commun
10	0,6	0,51	0,7	0,4	0,3	0,8	0,6	1,1
15	0,9	0,75	1,0	0,6	0,5	1,2	0,9	1,6
20	1,2	0,98	1,3	0,8	0,6	1,5	1,2	2,0
25	1,5	1,19	1,6	1,0	0,8	1,9	1,5	2,4
30	1,8	1,40	1,9	1,2	0,9	2,2	1,8	2,7
35	2,0	1,59	2,2	1,5	1,1	2,5	2,1	3,0
40	2,3	1,77	2,5	1,7	1,2	2,7	2,4	3,3
45	2,5	1,94	2,8	1,9	1,4	3,0	2,7	3,5
50	2,7	2,10	3,0	2,2	1,6	3,2	2,9	3,7
55	2,9	2,25	3,2	2,4	1,7	3,4	3,2	3,9
60	3,1	2,38	3,5	2,7	1,9	3,6	3,5	3,9
65	3,3	2,51	3,7	2,9	2,1	3,8	3,7	4,0
70	3,5	2,62	3,9	3,2	2,2	3,9	4,0	4,0
75	X	2,72	4,1	3,5	2,4	4,1	4,2	4,0
80	X	2,81	4,3	3,8	2,6	4,2	4,5	X
85	X	2,89	X	4,0	2,8	4,3	4,7	X
90	X	2,95	X	4,3	2,9	4,3	4,9	X
95	X	3,01	X	4,6	3,1	4,4	5,2	X
100	X	3,05	X	4,9	3,3	4,4	5,4	X
105	X	3,08	X	5,2	3,5	X	5,6	X
110	X	3,10	X	5,6	3,7	X	5,8	X
115	X	3,11	X	5,9	3,8	X	6,0	X
120	X	3,11	X	6,2	4,0	X	6,3	X
125	X	X	X	6,5	4,2	X	X	X
130	X	X	X	6,9	4,4	X	X	X
135	X	X	X	7,2	4,6	X	X	X
140	X	X	X	7,6	4,8	X	X	X
145	X	X	X	7,9	5,0	X	X	X
150	X	X	X	8,3	5,1	X	X	X
Domaine de validité	0 - 70 cm	0-120 cm	0-80 cm	0-150 cm	0-150 cm	0-100 cm	0-120 cm	0-70 cm

		Biomasse aérienne sèche (grammes de MS pour 1 m ²)						
Espèce		Avoine commune	Avoine strigosa	colza hiver	Féverole (pts/hiver)	Moutarde blanche	Radis fourrager	Phacélie
Hauteur (cm)								Seigle commun
10	60	51	69	38	30	81	62	108
15	91	75	101	59	46	119	93	156
20	120	98	133	79	61	154	122	199
25	149	119	164	101	77	187	152	238
30	176	140	193	123	93	218	181	273
35	202	159	221	145	109	248	210	304
40	226	177	249	168	125	275	238	331
45	250	194	275	192	141	300	265	353
50	272	210	300	216	158	323	293	371
55	293	225	324	241	174	344	319	385
60	313	238	347	267	191	363	346	395
65	332	251	369	293	208	379	371	400
70	349	262	390	320	225	394	397	401
75	X	272	410	347	242	407	422	398
80	X	281	429	375	259	417	446	X
85	X	289	X	404	276	426	470	X
90	X	295	X	433	294	432	494	X
95	X	301	X	463	311	437	517	X
100	X	305	X	493	329	439	540	X
105	X	308	X	524	347	X	562	X
110	X	310	X	555	365	X	584	X
115	X	311	X	588	383	X	605	X
120	X	311	X	620	402	X	626	X
125	X	X	X	654	420	X	X	X
130	X	X	X	688	439	X	X	X
135	X	X	X	722	458	X	X	X
140	X	X	X	757	477	X	X	X
145	X	X	X	793	496	X	X	X
150	X	X	X	829	515	X	X	X
Domaine de validité	0 - 70 cm	0-120 cm	0-80 cm	0-150 cm	0-150 cm	0-100 cm	0-120 cm	0-70 cm

Domaine de validité défini par les données de la base de données

L'utilisateur choisira **l'option « biomasse sèche »** dans le module de calcul de la plateforme MERCI.

Les valeurs ci-dessous sont directement utilisables et correspondent à la valeur en gramme pour une surface de 1 m².



6

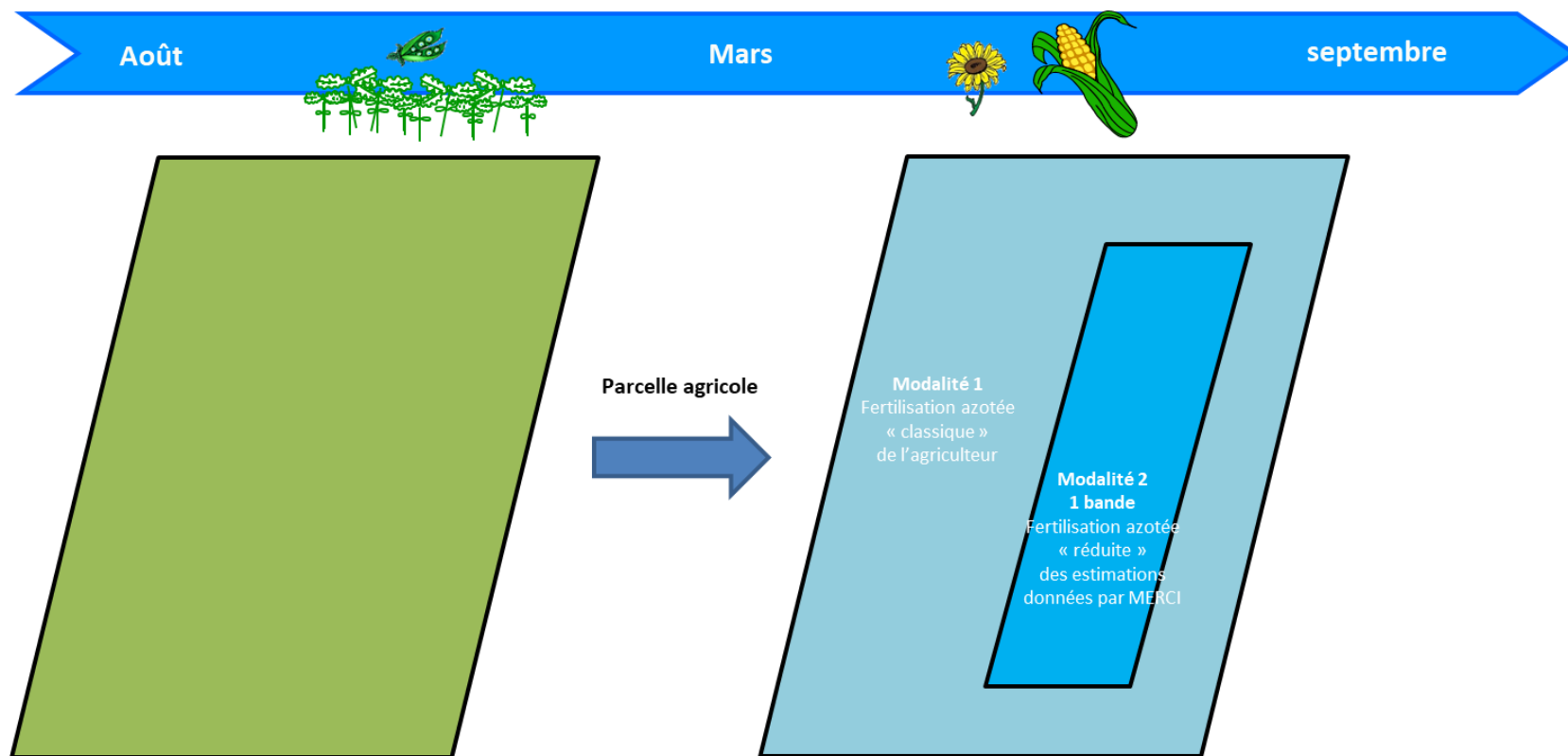
Robustesse des estimations MERCI

Exemples d'adaptation de la fertilisation
en azote de la culture suivante



Type d'essais :

- Conduite « grandes bandes »
- Nombre limité de modalités testées (1 à 4)



Implantation/suivi du couvert végétal

- Données sur culture précédente (rendement, fertilisation)
- Type de sol
- Itinéraire technique du couvert (semis, destruction)
- Espèces/variétés implantées, densité de semis
- Observations physiologiques diverses (développement, floraison, ...)
- Réalisation d'une mesure de biomasse aérienne, a minima au printemps à la destruction du couvert + analyses au laboratoire
- Récupérer données météorologiques
-

Implantation/suivi de la culture suivante

- Itinéraire technique du couvert (semis, destruction)
- Espèces/variétés implantées, densité de semis
- Observations physiologiques diverses (développement, floraison, adventices, limaces, ...)
- Réalisation d'une mesure du rendement sur les 2 modalités (quantité, qualité)



Diminution de la fertilisation azotée sur la culture suivante (CdA40)

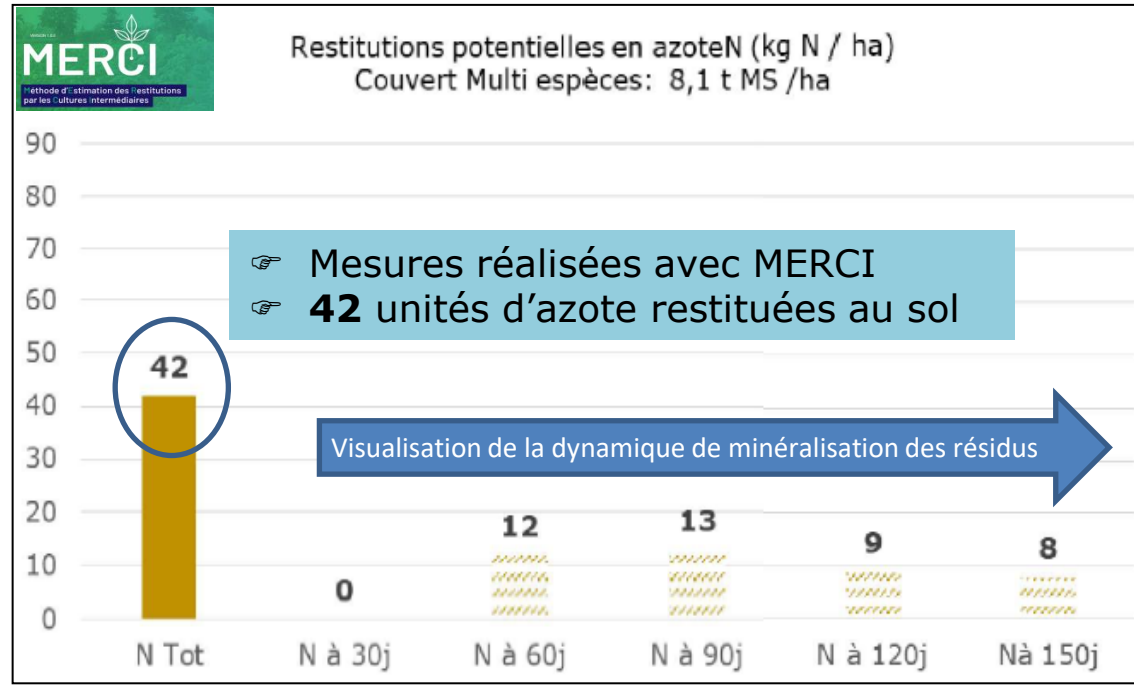
- ☞ Test en « bandes » chez des agriculteurs
- ☞ Période d'interculture 2020-2021, lieu : Chalosse (sud des Landes)
- ☞ Culture suivante : maïs grain 

TEST 1

Itinéraire technique

- ☞ Sols : limons sableux
- ☞ Mélange à 4 espèces :
 - féverole (100kg/ha),
 - vesce (20kg/ha),
 - radis fourrager (3.5 kg/ha)
 - avoine fourragère (15 kg/ha)

- ☞ Semis à la volée (30/09/2020)
- + passage herse (pour enfouissement superficiel)
- ☞ Destruction : 15/03





Diminution de la fertilisation azotée sur la culture suivante (CdA40)

- ☞ Test en « bandes » chez des agriculteurs
- ☞ Période d'interculture 2020-2021, lieu : Chalosse (sud des Landes)
- ☞ Culture suivante : maïs grain 

TEST 1

Essai « maïs »

3 modalités de fertilisation

⇒ *Prise en compte des estimations MERCI*

⇒ *Modulation sur 2^{ème} apport « 9-10 feuilles »*

1. Fertilisation « agriculteur » : **200** U/ha
2. Fertilisation « MERCI » : **155** U/ha
3. Fertilisation « Augmentée » : **225** U/ha



Rendement « maïs grain » (aux normes)

1. **141** quintaux / ha
2. **146** quintaux / ha
3. **145** quintaux / ha

☞ Avec prix de l'azote à 1 €/U => économie d'intrants = 45 €/ha



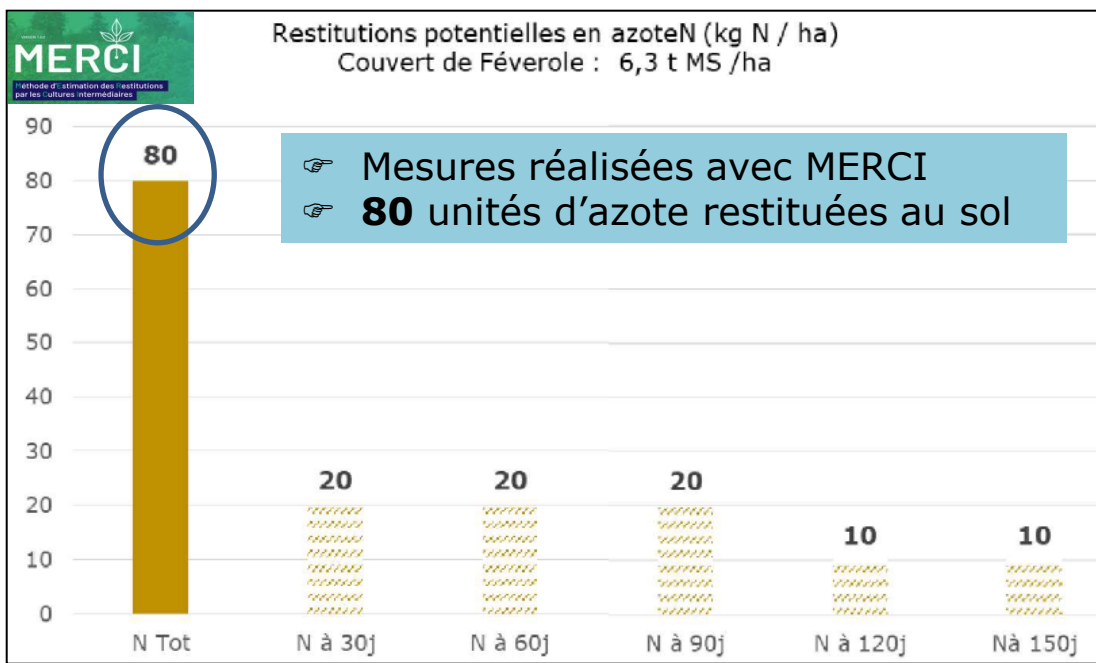
Diminution de la fertilisation azotée sur la culture suivante (CdA40)

- ☞ Test en « bandes » chez des agriculteurs
- ☞ Période d'interculture 2020-2021, lieu : Chalosse (sud des Landes)
- ☞ Culture suivante : maïs grain 

TEST 2

Itinéraire technique

- ☞ Sols : brouillards
- ☞ Couvert : *féverole* (130 kg/ha),
- ☞ Semis à la volée (01/11/2020)
+ passage herse (pour enfouissement superficiel)
- ☞ Destruction : 24/03





Diminution de la fertilisation azotée sur la culture suivante (CdA40)

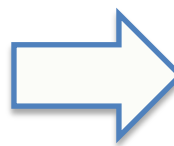
- ☞ Test en « bandes » chez des agriculteurs
- ☞ Période d'interculture 2020-2021, lieu : Chalosse (sud des Landes)
- ☞ Culture suivante : maïs grain

TEST 2

Essai « maïs »

2 modalités de fertilisation

1. Fertilisation « agriculteur » : **200** U/ha
2. Fertilisation « agriculteur - 45 U » : **155** U/ha



Rendement « maïs grain » (aux normes)

- | | |
|----|--------------------------|
| 1. | 139 quintaux / ha |
| 2. | 138 quintaux / ha |

- ☞ **Fiabilité des résultats de la méthode MERCi**
- ☞ **Avec prix de l'azote à 1 €/U => économie = ~45 €/ha**
- ☞ **Peut-on aller jusqu'à diminuer de 80 u/ha ?**
=> à tester !



Diminution de la fertilisation azotée sur la culture suivante (CdA86)

- ☞ Test en « bandes » chez agriculteur
- ☞ Période d'interculture 2020-2021, lieu : 86, Vienne
- ☞ Culture suivante : maïs grain

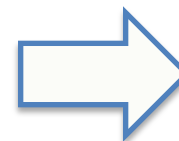


TEST 3

Itinéraire technique

- ☞ Sols : Argilo-calcaire moyennement profond
- ☞ Mélange à 2 espèces : *féverole* + *repousses d'orge*
- ☞ Semis : 20 août 2020
- ☞ Destruction : 10/03/2021 (*déchaumeur à disques*)
+ 2 déchaumages (12 et 15 mars 2021)

Biomasse aérienne
2,8 t MS/ha



Restitution en azote
estimée à 59 U N/ha



Diminution de la fertilisation azotée sur la culture suivante (CdA86)

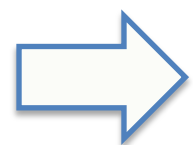
- ☞ Test en « bandes » chez agriculteur
- ☞ Période d'interculture 2020-2021, lieu : 86, Vienne
- ☞ Culture suivante : maïs grain (récolte 27/10/2021)

TEST 3



Essai « maïs »
2 modalités de fertilisation

1. Ferti « agriculteur » : **180** U/ha
2. Ferti « calculée en intégrant MERCI » : **112** U/ha



Rendement « maïs grain »
(aux normes, placettes)

1.	145 quintaux / ha
2.	145 quintaux / ha

☞ Avec prix de l'azote à 1 €/U => économie d'intrants = 68 €/ha



Diminution de la fertilisation azotée sur la culture suivante (LIA)

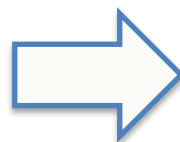
- ☞ Test en « bandes » chez agriculteur
- ☞ Période d'interculture 2022-2023, lieu : 31, Villemur sur Tarn
- ☞ Culture suivante : Tournesol



TEST 4

Itinéraire technique

- ☞ Sols : Coteaux argilo-calcaire
- ☞ Couvert : *féverole*
- ☞ Semis : 1/10/2022 (160 kg/ha)
- ☞ Destruction : 8/04/2023 (déchaumage)
(reliquat azote du sol : 23 kg/ha sur 0-60 cm)
- ☞ Semis tournesol : 6/05/2023



Biomasse aérienne
6,4 t MS/ha



Restitution en azote
estimée à 80 U N/ha



Diminution de la fertilisation azotée sur la culture suivante (LIA)

- ☞ Test en « bandes » chez agriculteur
- ☞ Période d'interculture 2022-2023, lieu : 31, Villemur sur Tarn
- ☞ Culture suivante : Tournesol

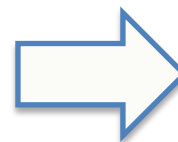


TEST 4

Essai « tournesol »

2 modalités de fertilisation

1. Ferti « agriculteur » : **50** U/ha
2. Ferti « calculée en intégrant MERCI » : **0** U/ha



Rendement « tournesol » (aux normes, bandes moissonneuse)

1. **30** quintaux / ha
2. **28** quintaux / ha

- ☞ Avec prix de l'azote à 1 €/U => économie d'intrants = 50 €/ha
- ☞ 1 passage en moins = « moins de charge de mécanisation » = ~15 €/ha



Diminution de la fertilisation azotée sur la culture suivante (CdA64)

- Test en « bandes » chez agriculteur
- Période d'interculture 2022-2023, Pyrénées-Atlantiques

TEST 5

Itinéraire technique

- Sols : Alluvions limono-argileux (RU : 150-200 mm)
- Couvert : *féverole, avoine commune, pois fourrager, vesce commune*
- Semis : 20/10/2022
- Destruction : 8/04/2023
- Culture suivante : Maïs grain

RÉSULTATS

Date de calcul : 23/03/2023
Date de mesure : 22/03/2023
Nom de la parcelle : chemin de camalet droite
Localisation : VIELLEVILLE D'ARTHEZ
Devenir du couvert : Restituit
Type de sol : Alluvions limono-argileuses
Réserve Utile du sol : 150 - RU = 200
Date de levée (semis) : 20/10/2022
Liste des espèces présentes dans le couvert :
Adventice dicotylédone, Avoine commune hiver, Féverole
hiver, Pois fourrager, Vesce commune hiver

I CARACTÉRISTIQUE DU COUVERT

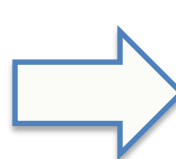
Matière sèche aérienne (t/ha) **4,8** Azote piégé total (kg/ha) **140**

II RESTITUTIONS DU COUVERT AU SOL
(kg/ha, éléments disponibles pour la culture suivante)

Azote (N) **61**

Informations sur la dynamique de minéralisation

20 kg A 30 jours	14 kg A 60 jours	12 kg A 90 jours	7 kg A 120 jours	7 kg A 150 jours	kg A 180 jours
---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	-------------------



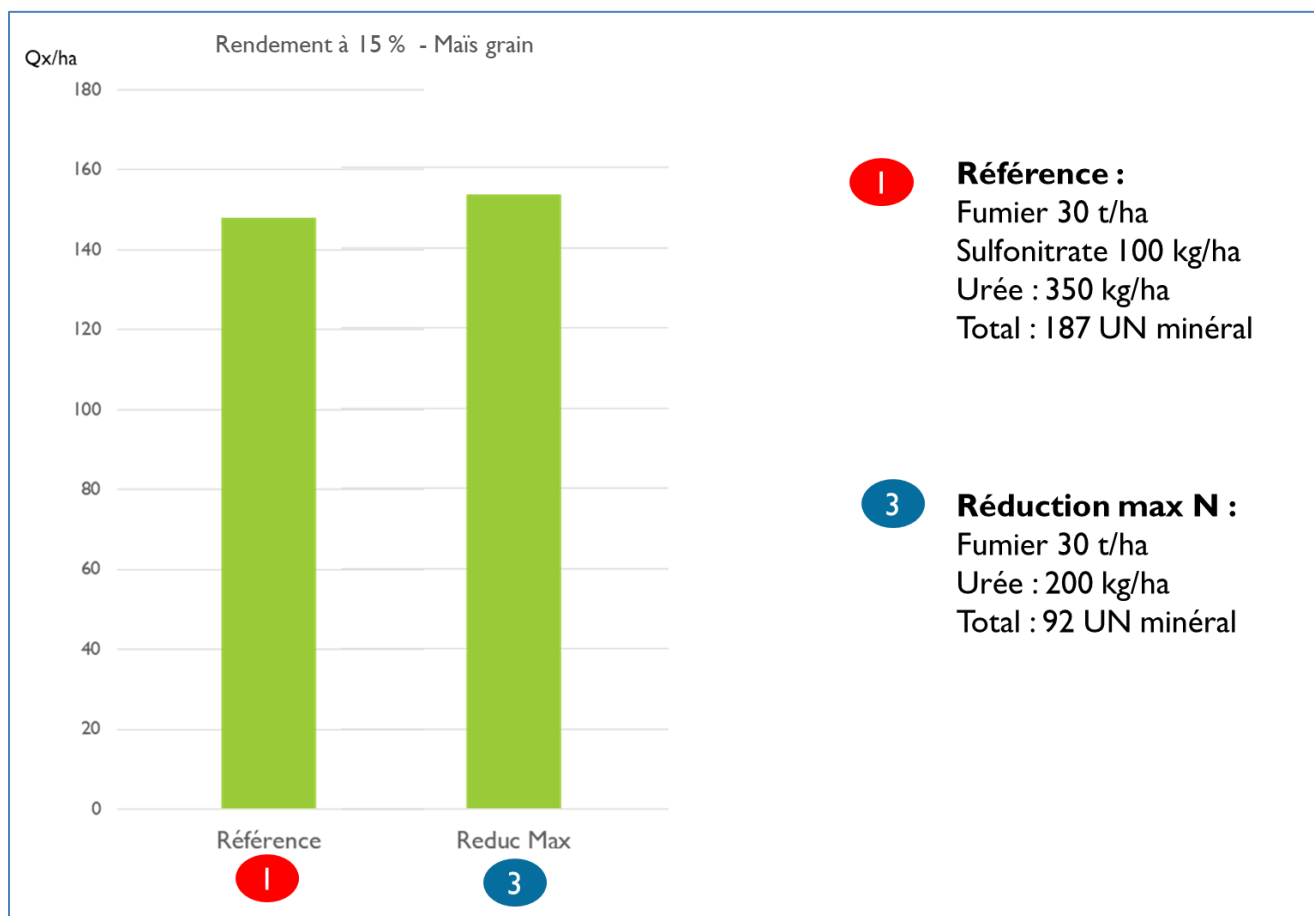
Biomasse aérienne
4,8 t MS/ha

Restitution en azote
estimée à 60 U N/ha





Diminution de la fertilisation azotée sur la culture suivante (CdA64)



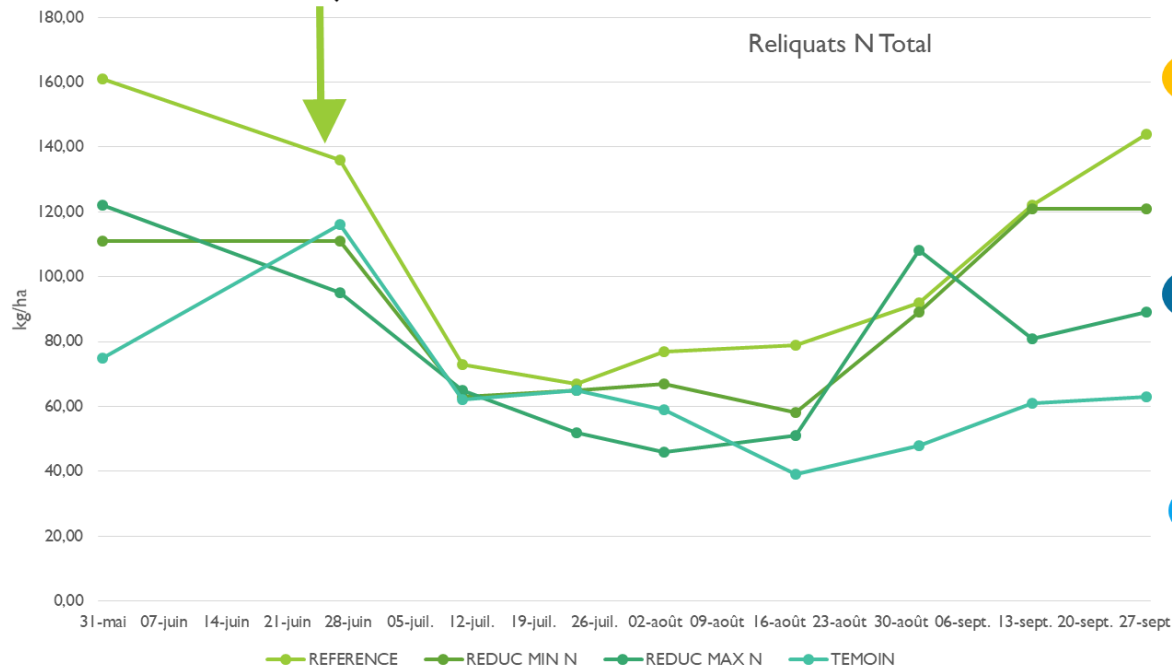


Impact sur la quantité d'azote dans le sol (CdA64, reliquats azotés)

Fumier 17 mai

Sulfonitrate
28 mai

Perlurée
28 juin



1 Référence :
Fumier 30 t/ha
Sulfonitrate 100 kg/ha
Urée : 350 kg/ha
Total : 187 UN minéral

2 Réduction min N :
Fumier 30 t/ha
Urée : 400 kg/ha
Total : 184 UN minéral

3 Réduction max N :
Fumier 30 t/ha
Urée : 200 kg/ha
Total : 92 UN minéral

4 Témoin :
Fumier 30 t/ha
Total : 0 UN minéral

Diminution de la fertilisation azotée sur la culture suivante (CdA86)

- ☞ Test en « parcelles d'essais » chez agriculteur
- ☞ Période d'interculture 2013-2014, Vienne

TEST 6

Itinéraire technique

- ☞ Sols : SABLE DE VALLEE DE LA VIENNE (RU : 100-150 mm)
- ☞ Couvert : 30 kg/ha
- 50% Avoine Rude ALTESSE (15 kg/ha)
- 32% Vesce Commune Printemps NACRE (9,6 kg/ha)
- 14% Trèfle d'Alexandrie TABOR (4,2 kg/ha)
- 4% Phacélie STALA / JULIA (1,2 kg/ha)

- ☞ Semis 15/08/2013
- ☞ Destruction : 15/02/2014
- ☞ Culture suivante : Maïs grain irrigué

SAISIE DES DONNEES

Méthode par mesure de : biomasse verte

Nom parcelle : CABA

Date mesure de biomasse : 15.08

n° de prélèvement : 1 2 3

Esèce	nom	type	Biomasse aérienne verte (g)	Surface de prélèvement (m²)
Esèce 1	phacélie	hydrophyllacées	450	1 1 1
Esèce 2	trèfle d'Alexandrie	légumineuses	200	1 1 1
Esèce 3	vesce (hiver & printemps)	légumineuses	500	1 1 1
Esèce 4	avoine fourragère (stiposa)	graminées	500	1 1 1

Biomasse du couvert

Matière sèche aérienne (t/ha) : 3,2

Azote piégé total (kg/ha) : 91

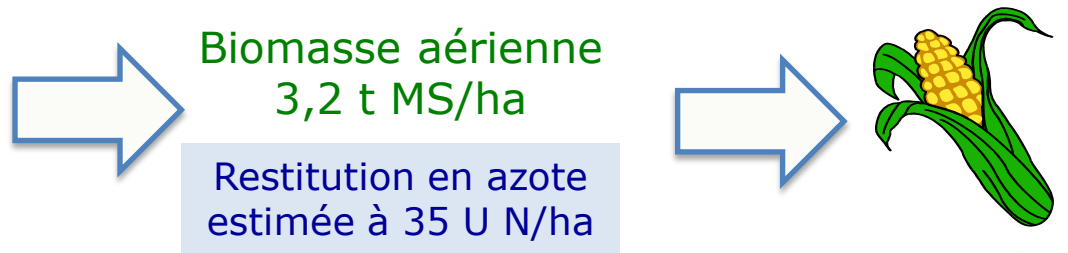
Restitution du couvert (kg/ha)

N : 35

P₂O₅ : 15

K₂O : 125

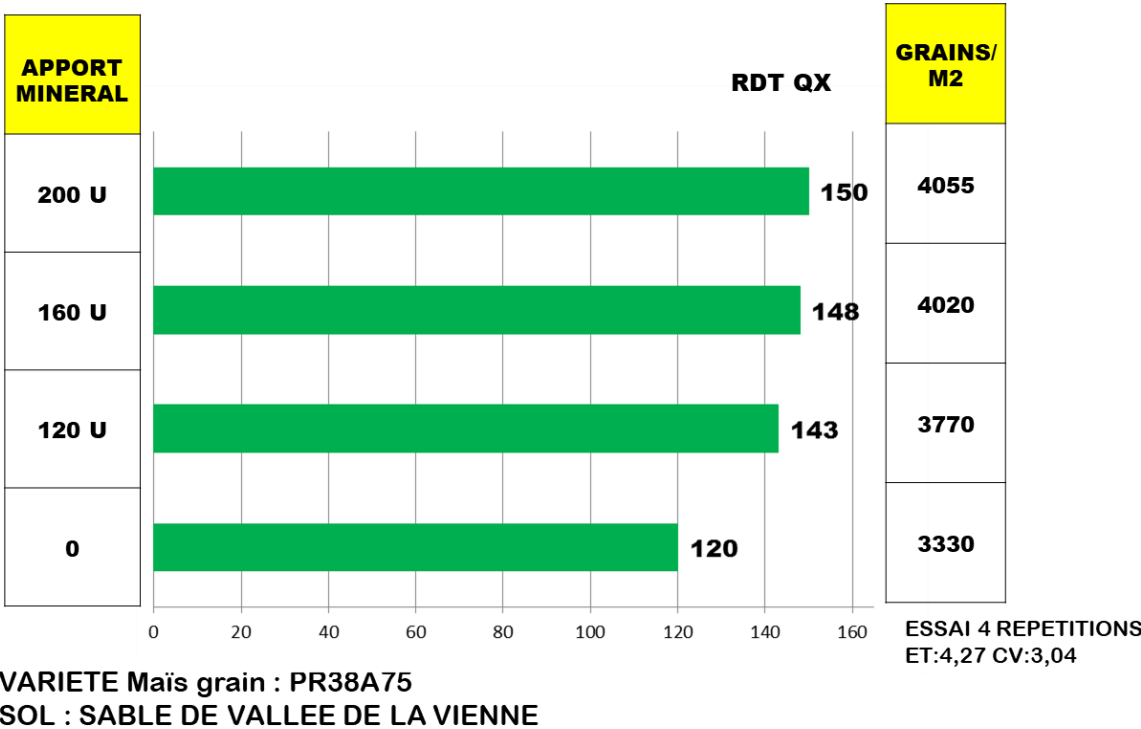
Enregistrer le calcul



Diminution de la fertilisation azotée sur la culture suivante (CdA86)

- ☞ Test en « parcelles d'essais » chez agriculteur
- ☞ Période d'interculture 2013-2014, Vienne

TEST 6



Constats

- Effet « fertilisant en azote » souvent sous-estimé (faiblement pris en compte)
- Agriculteur considère les restitutions par les couverts comme un « **bonus** » pouvant contribuer à **déplafonner le rendement** de la culture suivante
- Effet « fertilisant » est optimisé avec des couverts de légumineuses détruits tardivement
- Attention en « système en sec » => compromis avec « capital eau du sol » pour la culture suivante



Maïs grain

- Prise en compte sur **15 essais** conduits en 86, 64, 40, 32
- Réduction en moyenne : - **55 U d'azote /ha** (-25 à -100 U/ha)
- Impact sur le rendement : + **0,5 qx/ha en moyenne**
*=> 7 essais avec perte de rendement -5 qx/ha (-1 à -12) pour réduction de -59 U/ha
dont : 1 par limace, 1 en 2024 car fort abat d'eau après destruction couvert*
*=> 3 essais sans différence de rendement pour réduction de - 53 U/ha
=> 5 essais avec gain de rendement + 9 qx/ha pour réduction de -57 U/ha*



Tournesol

- **1 essai** en 2021
 1. Ferti « agriculteur » : **50 U/ha**
 2. Ferti « calculée en intégrant MERCI » : **0 U/ha**



Rendement « tournesol » (aux normes, bandes moissonneuse)

- | | |
|-----------|-------------------------|
| 1. | 30 quintaux / ha |
| 2. | 28 quintaux / ha |

7

Quelques éléments de synthèse
issus des calculs réalisés
sur la plateforme MERCI



Merci aux utilisateurs
de la méthode MERCI

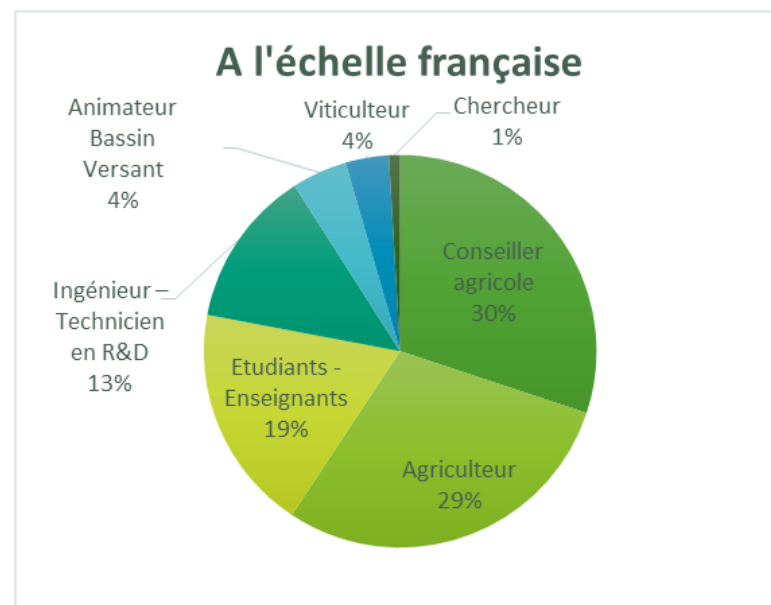


Analyses des calculs réalisés sur la plateforme MERCI : novembre 2020 à mars 2023

- ▶▶ 2153 inscrits sur la plateforme MERCI
- ▶▶ 35 000 calculs réalisés

Quelques chiffres au 20 mars 2023

- 1/3 agriculteurs / viticulteurs
- 1/3 conseillers agricoles





Analyses des calculs réalisés sur la plateforme MERCI : novembre 2020 à mars 2023

• Typologie des couverts végétaux

- Couverts végétaux majoritairement restitués (95 %)
- Des résidus majoritairement enfouis après destruction (74 %)
- Durée d'implantation moyenne : **125-130** jours (4,2 mois)

• Composition : nombre d'espèces

- ¼ des couverts implantés en « pur » (25%)
=> féverole, moutarde blanche, phacélie
- Majorité de couverts avec 2 à 5 espèces (62%)
- Peu de couverts avec plus de 5 espèces (13 %)

Nombre d'espèces par couvert	Répartition des calculs
1	25%
2	18%
3	19%
4	14%
5	11%
6	6%
7	3%
8	2%
9	1%
10	0,4%
> 11	0,5%

} 62 %



MERCi

Méthode d'Estimation des Restitutions
par les Cultures Intermédiaies

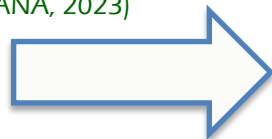


Analyses des calculs réalisés sur la plateforme MERCI : novembre 2020 à mars 2023

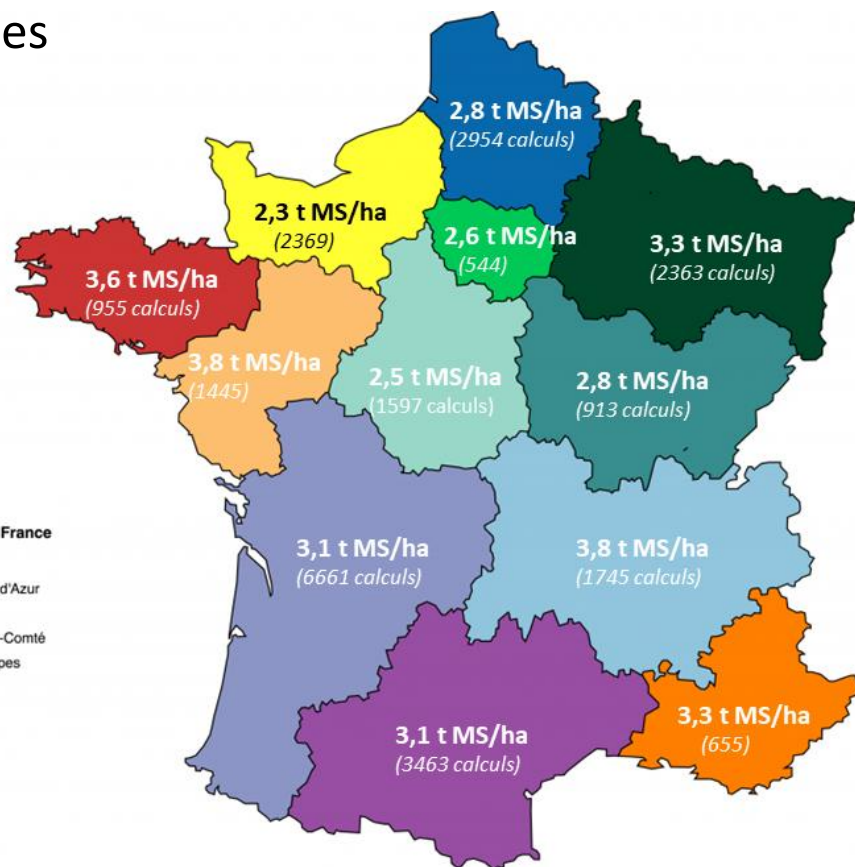
- **Biomasses aériennes (tonnes MS/ha)**
 - 3,3 tonnes en moyenne sur 3 périodes



Biomasses aériennes moyennes atteintes en France métropolitaine et nombre de calculs réalisés sur la plateforme MERCI (CRANA, 2023)



Carte des régions de France



Phrase MP.....
constatée



Analyses des calculs réalisés sur la plateforme MERCI : novembre 2020 à mars 2023

- Biomasses aériennes (tonnes MS/ha)**



Classes Biomasse aérienne (t MS/ha)	Répartition des calculs
1 < tonne MS/ha	16%
1 - 2	21%
2 - 3	18%
3 - 4	14%
4 - 5	11%
5 - 6	7%
6 - 7	5%
> 7 tonne MS/ha	9%

Répartition des différentes classes de biomasses aériennes atteintes en France métropolitaine (CRANA, 2023)

- 37 % de couverts à « faible biomasse aérienne » < à 2 tonnes MS/ha
- Des couverts végétaux à forte biomasse aérienne (>5 t MS/ha) **moins représentés** (21 %) **mais possible**



Analyses des calculs réalisés sur la plateforme MERCI : novembre 2020 à mars 2023

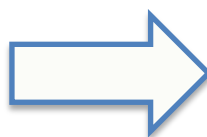
- Absorption d'azote** (*valeurs moyennes*)

- Azote total capté par le couvert végétal : **90 kg/ha**
- ~**25 kg** d'azote stocké par tonne de MS aérienne



- Restitutions en éléments fertilisants** (*valeurs moyennes*)

- Azote restitué rapidement au sol : **30 kg/ha**
- P_2O_5 restitué : **15 kg/ha**
- K_2O restitué : **100 kg/ha**



Niveau de restitution en azote des couverts végétaux estimé par la méthode MERCI (kg/ha)	Répartition des calculs (%)
0 - 15 kg d'azote / ha	30%
15 - 30 kg d'azote / ha	28%
30 - 45 kg d'azote / ha	16%
45 - 60 kg d'azote / ha	9%
60 - 75 kg d'azote / ha	6%
75 - 90 kg d'azote / ha	4%
> 90 kg d'azote / ha	7%



Analyses des calculs réalisés sur la plateforme MERCI : novembre 2020 à mars 2023

(expertise sur territoire de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne)

- Restitutions rapides en azote selon la biomasse aérienne totale produite (tonnes MS/ha)

Toutes espèces confondues, toutes dates de destruction confondues

	Catégorie	nbre valeurs	N restitué rapidement
cat1	<1 t MS/ha	715	5
cat2	1 à <2 t MS/ha	1116	15
cat3	2 à <3 t MS/ha	906	25
cat4	3 à <4 t MS/ha	829	30
cat5	4 à <5 t MS/ha	467	35
cat6	5 à <6 t MS/ha	299	40
cat7	6 à <7 t MS/ha	253	50
cat8	7 à <8 t MS/ha	150	55
cat9	>8 t MS/ha	303	70
		5038	



Analyses des calculs réalisés sur la plateforme MERCI : novembre 2020 à mars 2023

(expertise sur territoire de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne)

Pour différents profils de couverts
& périodes de destruction

		Destruction précoce (octobre - nov - décembre)		Destruction tardive (janvier - fev - mar -avril)	
Catégorie	Espèces	nbre valeurs	N restitué rapidement	nbre valeurs	N restitué rapidement
<1 t MS/ha	crucifères	45	5	15	5
1 à <2 t MS/ha	crucifères	79	10	12	10
2 à <3 t MS/ha	crucifères	58	15	5	20
3 à <4 t MS/ha	crucifères	53	20	16	30
4 à <5 t MS/ha	crucifères	35	30	11	35
5 à <6 t MS/ha	crucifères	32	35	6	55
6 à <7 t MS/ha	crucifères	13	45	2	55
7 à <8 t MS/ha	crucifères	14	50	2	50
>8 t MS/ha	crucifères	11	65	4	85

		Destruction précoce (octobre - nov - décembre)		Destruction tardive (janvier - fev - mar -avril)	
Catégorie	Espèces	nbre valeurs	N restitué rapidement	nbre valeurs	N restitué rapidement
<1 t MS/ha	légumineuses pures	73	5	64	10
1 à <2 t MS/ha	légumineuses pures	51	25	67	30
2 à <3 t MS/ha	légumineuses pures	30	40	64	45
3 à <4 t MS/ha	légumineuses pures	18	50	63	60
4 à <5 t MS/ha	légumineuses pures	11	55	29	65
5 à <6 t MS/ha	légumineuses pures	9	60	14	75
6 à <7 t MS/ha	légumineuses pures	8	70	32	100
7 à <8 t MS/ha	légumineuses pures	2	85	6	105
>8 t MS/ha	légumineuses pures	6	140	34	150



Analyses des calculs réalisés sur la plateforme MERCI : novembre 2020 à mars 2023

(expertise sur territoire de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne)

		Destruction précoce (octobre - nov - décembre)		Destruction tardive (janvier - fev - mar -avril)	
Catégorie	Espèces	nbre valeurs	N restitué rapidement	nbre valeurs	N restitué rapidement
<1 t MS/ha	mélanges avec légumineuses	225	5	171	10
1 à <2 t MS/ha	mélanges avec légumineuses	377	15	214	20
2 à <3 t MS/ha	mélanges avec légumineuses	328	25	179	35
3 à <4 t MS/ha	mélanges avec légumineuses	260	25	147	45
4 à <5 t MS/ha	mélanges avec légumineuses	137	30	93	50
5 à <6 t MS/ha	mélanges avec légumineuses	86	35	57	55
6 à <7 t MS/ha	mélanges avec légumineuses	73	45	64	85
7 à <8 t MS/ha	mélanges avec légumineuses	24	60	32	90
>8 t MS/ha	mélanges avec légumineuses	27	90	99	110

		Destruction précoce (octobre - nov - décembre)		Destruction tardive (janvier - fev - mar -avril)	
Catégorie	Espèces	nbre valeurs	N restitué rapidement	nbre valeurs	N restitué rapidement
<1 t MS/ha	mélanges sans légumineuses	143	5	48	5
1 à <2 t MS/ha	mélanges sans légumineuses	26	10	72	15
2 à <3 t MS/ha	mélanges sans légumineuses	200	15	59	20
3 à <4 t MS/ha	mélanges sans légumineuses	214	20	53	25
4 à <5 t MS/ha	mélanges sans légumineuses	108	25	21	30
5 à <6 t MS/ha	mélanges sans légumineuses	65	30	21	40
6 à <7 t MS/ha	mélanges sans légumineuses	37	35	13	40
7 à <8 t MS/ha	mélanges sans légumineuses	23	40	11	45
>8 t MS/ha	mélanges sans légumineuses	42	40	15	65



Analyses des calculs réalisés sur la plateforme MERCI : novembre 2020 à mars 2023

(expertise sur territoire de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne)

Catégorie	Espèces	Destruction précoce		Destruction tardive	
		nbre valeurs	N restitué rapidement	nbre valeurs	N restitué rapidement
<1 t MS/ha	graminées pures	45	0	18	5
1 à <2 t MS/ha	graminées pures	41	5	30	10
2 à <3 t MS/ha	graminées pures	12	10	13	15
3 à <4 t MS/ha	graminées pures	24	10	10	20
4 à <5 t MS/ha	graminées pures	4	5	4	25
5 à <6 t MS/ha	graminées pures	4	15	8	20
6 à <7 t MS/ha	graminées pures	6	15	6	30
7 à <8 t MS/ha	graminées pures	3	15	3	45
>8 t MS/ha	graminées pures	17	10	5	55

Catégorie	Espèces	Destruction précoce		Destruction tardive	
		nbre valeurs	N restitué rapidement	nbre valeurs	N restitué rapidement
<1 t MS/ha	phacélie pures	11	5	5	10
1 à <2 t MS/ha	phacélie pures	19	15	7	20
2 à <3 t MS/ha	phacélie pures	8	30	5	35
3 à <4 t MS/ha	phacélie pures	16	25	3	30
4 à <5 t MS/ha	phacélie pures	5	25	1	35
5 à <6 t MS/ha	phacélie pures	2	30	3	40
6 à <7 t MS/ha	phacélie pures	1	35	./	./
7 à <8 t MS/ha	phacélie pures	1	45	1	50
>8 t MS/ha	phacélie pures	./	./	./	./

8

Conclusions





Méthode MERCI

Personnes ressources en Chambres d'Agriculture

1. CA Drôme

Marie-Pascale COURONNE

marie-pascale.couronne@drome.chambagri.fr

2. CA Bretagne

Gwenaël MORIN

gwenael.morin@bretagne.chambagri.fr

3. CA Landes

Aline CROUIGNEAU

aline.crouigneau@landes.chambagri.fr

4. CA Normandie

Jean-Philippe CHENAULT

jeanphilippe.chenault@normandie.chambagri.fr

5. CA Pyrénées-Atlantiques

Patrice MAHIEU

p.mahieu@pa.chambagri.fr

6. CA Nouvelle Aquitaine

Sébastien Minette

sebastien.minette@na.chambagri.fr





Mise à disposition :

- Diaporama pédagogique de la méthode MERCI
- Travaux Pratiques à mettre en œuvre en Lycées Agricoles (BTS)
 - ☞ *adaptation de la fertilisation azotée de la culture suivante*
 - ☞ *bilan humique*
- Posters



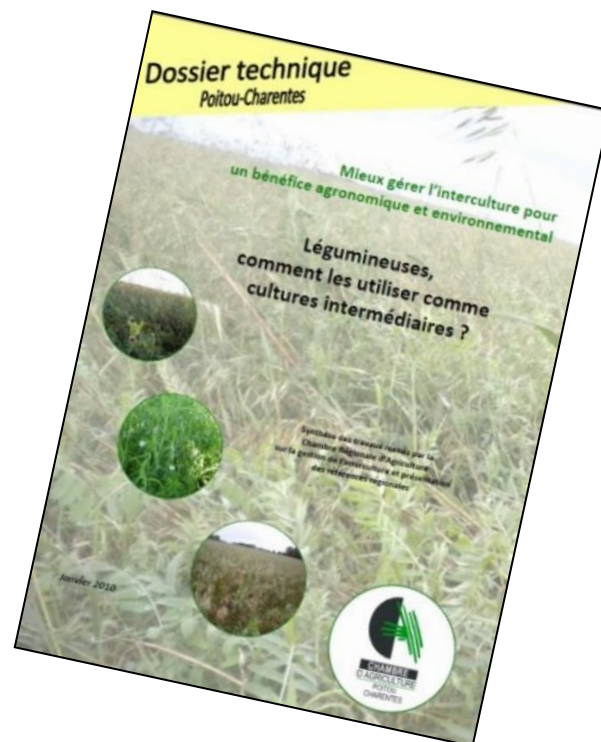
Retrouvez tous nos résultats techniques



www.methode-merci.fr



www.agriconnaissances.fr



VERSION 2.1.0

MERCI

Méthode d'Estimation des Restitutions
par les Cultures Intermédiaires

Diaporama réalisé par :

- Gwenael Morin
 - Jean-Philippe Chenault
 - Marie-Pascale Couronne
 - Aline Crouigneau
 - Sébastien Minette
- CRA Bretagne
CRA Normandie
CdA Drôme
CdA Landes
CRA Nouvelle Aquitaine



Avec le soutien financier :

FOND NATIONAL DE MODERNISATION, DE
PERFORMANCE ET DE PEREQUATION (FNMPP)



Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR

 **MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**
*Liberté
Égalité
Fraternité*

Dites MERCI à vos couverts !



Couverts Végétaux,
Apprendre à cultiver les services