

Méthode d'analyse des reliquats début drainage

Document réalisé par la Chambre d'agriculture de Bretagne en concertation avec la DRAAF Bretagne et la DREAL Bretagne – Août 2025

Le reliquat début drainage (RDD) est une analyse réalisée au laboratoire à partir de prélèvements de sol sur une parcelle. Il quantifie, à la date de prélèvement, l'azote minéral présent dans les différents horizons de sol échantillonnés. Cette date de prélèvement doit se rapprocher le plus possible du début de la période de drainage, au moment où la capacité de rétention en eau du sol redevient saturée.

Le RDD est considéré comme un bon indicateur des risques de pertes d'azote par lixiviation mais résulte de plusieurs facteurs:

- les pratiques agricoles (raisonnement de la fertilisation, application de la fertilisation, gestion de l'interculture, etc)
- Autres facteurs non dépendants de la fertilisation (météo de l'année, conditions de minéralisation, lessivage, date de récolte, date de prélèvement, etc)

Table des matières

1	La variabilité du RDD	3
1.1	Variabilité liée aux pratiques culturales	3
1.1.1	Variabilité liée à la succession culturale	3
1.2	Variabilité liée aux conditions climatiques	7
1.3	Variabilité spatiale	9
1.3.1	Approche de la variabilité statistique des reliquats	11
1.4	Autres facteurs de variabilité	12
1.5	Comment s'affranchir de la variabilité connue ?	12
2	Prélèvement et choix des parcelles	13
2.1	Prélèvement des échantillons	13
2.2	Questionnaire sur les pratiques agricoles	13
2.3	Le réseau des parcelles de référence	13
2.4	Le réseau de parcelles lambda	14
3	Méthode d'analyse et d'interprétation des RDD	15
3.1	Identifier le début drainage	15
3.1.1	Le bilan hydrique	15
3.1.2	Validation par des mesures piézomètres	18
3.2	Correction de la date	18
3.2.1	Calcul de la lixiviation	19
3.2.2	Calcul de la minéralisation	20
3.2.3	Absorption azote	23
3.2.4	Correction du reliquat	24
3.3	Estimation du reliquat attendu	25
3.3.1	Méthode d'estimation du reliquat attendu	26
3.4	Définition du seuil de tolérance par rapport au RDD attendu	28
4	Conclusion	29

1 La variabilité du RDD

Le RDD varie en fonction de plusieurs facteurs :

- la culture de l'année
- la couverture du sol au moment du prélèvement
- la date : la teneur en azote minéral du sol évolue au cours du temps à cause notamment de la lixiviation, la minéralisation et l'absorption par les cultures
- les conditions météo
- l'hétérogénéité au sein d'une parcelle (sol, pratiques d'épandage, ...)
- des effets « laboratoires » et « préleveurs » peuvent également être observés.

1.1 Variabilité liée aux pratiques culturales

1.1.1 Variabilité liée à la succession culturale

Les données acquises sur les baies algues vertes depuis 2010 nous permettent de mettre en évidence l'effet des pratiques culturales sur la mesure de RDD. Des tendances sont observées par année mais d'autres facteurs entrent également en jeu dans la variabilité observée.

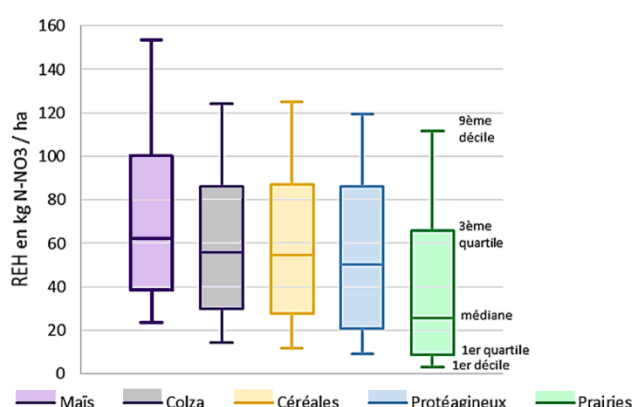


Figure 1: Valeur du reliquat début drainage pour différentes cultures pour environ 47 000 mesures du PLAV de 2010 à 2021.

La médiane du reliquat début drainage des maïs est d'environ 60 kg N-NO₃ / ha de 0 à 60 cm alors que celui des céréales est plutôt de 50 (Figure 1). Doit-t-on en conclure que les maïs sont moins bien fertilisés que les céréales ou est-ce simplement lié à une bien meilleure couverture des sols en général après céréales (notamment lorsqu'elles sont suivies d'un maïs), compte tenu des dates de récoltes ?

Les résultats obtenus sur des parcelles de référence recoupant les mêmes situations agronomiques et dont on sait par ailleurs qu'elles ont été correctement fertilisées sont indispensables pour trancher.

La culture de l'année

Les RDD sont pour une année donnée généralement plus élevés après maïs, qu'après céréales (même si cela n'est pas vérifié chaque année) alors qu'ils sont souvent plus faibles sous prairies (Figure 2). Toutefois, la variabilité observée entre les différentes parcelles pour une année donnée et entre les années, est très importante. Il n'est donc pas possible d'estimer un RDD attendu par type de culture. D'autres facteurs doivent être considérés.

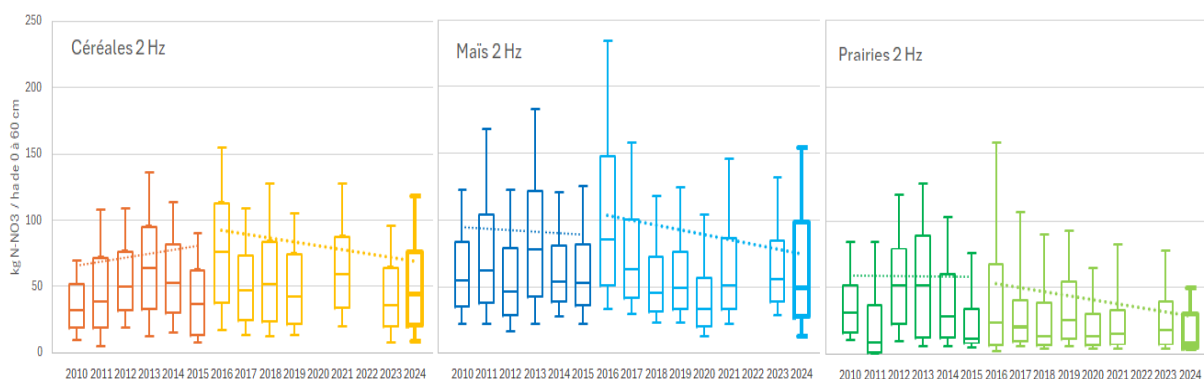


Figure 2: Répartition des RDD par culture et par année sur les baies algues vertes de 2010 à 2024.

Si l'effet culture est prépondérant, il ne l'emporte pas nécessairement sur les autres facteurs en cause, et notamment l'effet « année » comme le montrent les observations des années 2012, 2014 et 2018 (Figure 4).

En outre, si les RDD derrière céréales sont plus faibles, c'est en particulier dans le cas (fréquent) où c'est un maïs qui suit (couvert efficace). En effet, les RDD seront en moyenne plus faibles derrière un maïs suivi d'une culture de printemps que derrière une céréale suivie d'une culture d'hiver (Figure 3).

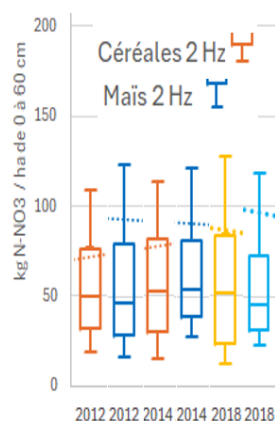


Figure 4: RDD céréales et maïs de 2012, 2014 et 2018.

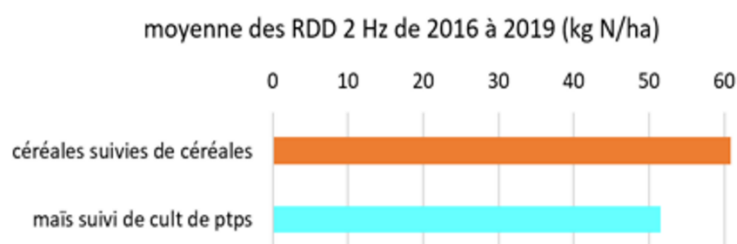


Figure 3: Moyenne des RDD de 2016 à 2019 pour des céréales suivies de céréales (orange) et de maïs suivi d'une culture de printemps (bleu).

La culture suivante

L'efficacité du couvert hivernal est inhérente aux plus ou moins bonnes pratiques de gestion de l'azote de l'agriculteur. Cependant, selon la culture suivante il est plus ou moins facile d'obtenir un couvert performant.

Si la céréale est suivie d'une culture de printemps (un maïs), l'agriculteur a en général tout le loisir d'implanter un couvert efficace. Il y a alors lieu d'être plus exigeant quant au résultat d'un RDD. Par contre, si la culture suivante est une 2^{ème} paille (une orge en général), un couvert n'est pas obligatoire et il devra être détruit le plus souvent à partir du 15 octobre. Dans ce cas il aura beaucoup moins d'impact sur un reliquat pratiqué en novembre par exemple.

C'est pour cela qu'une succession qui alterne systématiquement maïs et céréale sera bien plus « propre » en matière de fuite d'azote car elle permet un couvert efficace un an sur 2 alors qu'une

succession maïs – blé – orge – triticales, qui pourtant comporte seulement ¼ de maïs, laissera partir plus d’azote car l’interculture ne sera couverte efficacement qu’un an sur 4.

Dans le cas d’un colza graines semé derrière céréale, même s’il présente une bonne capacité d’absorption d’azote à l’automne, il aura en général été fertilisé. L’azote apporté par cette fertilisation n’aura pas été complètement absorbé avant le prélèvement d’un RDD et impacte sensiblement celui-ci.

Ne pas tenir compte de ce facteur « culture suivante » conduirait certes à être plus exigeant lors d’une succession paille – paille, sans apporter cependant un réel progrès quant aux fuites d’azote, mais amènerait à être plus permissif dans le cas d’une succession moisson – culture de printemps alors qu’il y a un réel enjeu pour les fuites d’azote.

Quant à la succession moisson – colza graines, elle serait systématiquement sanctionnée en incohérence avec la réglementation et cela ne permettrait pas de discriminer les cas de sur fertilisation à l’automne d’un colza.

La culture qui sera implantée l’année suivante (n+1) a donc une influence sur le RDD (Figure 5) et est un facteur important à considérer dans l’analyse.

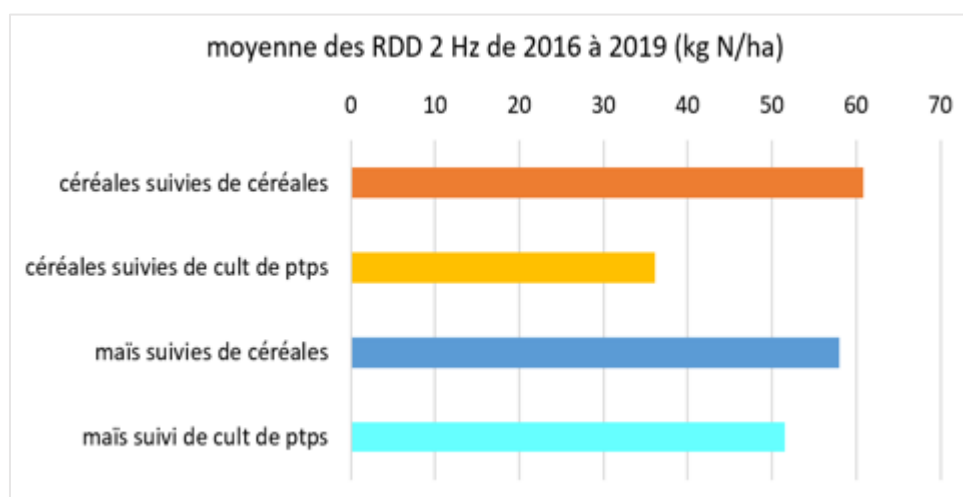


Figure 5: Effet de la culture suivante sur la mesure de RDD.

Le précédent cultural

Le précédent cultural et notamment le retournement de prairie vont avoir un effet non négligeable sur le niveau de RDD. Le type de précédent cultural doit être considéré dans l’analyse. L’application d’un seuil unique pour les parcelles de maïs serait moins juste dans 9% des cas, mais surtout plus permissive dans 91% des cas (Figure 6).

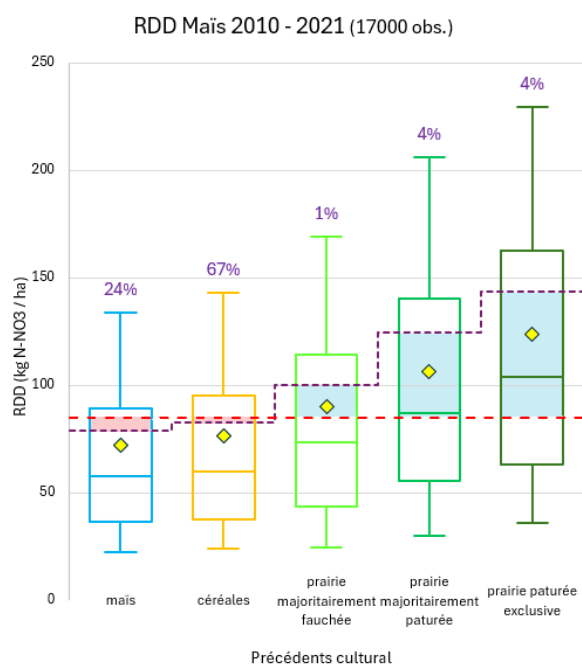


Figure 6: RDD mesurés de 2010 à 2021 pour les cultures de maïs en fonction du précédent cultural.

Le type de prairie

Le RDD peut doubler en fonction du type de prairie (fauchée ou pâturée) (Figure 7). Cette différence s'explique notamment par l'azote apporté par les bouses et pissats sur la parcelle comparativement à des prairies fauchées où la fertilisation est plus maîtrisée, et parfois non suffisante pour couvrir les exportations d'azote dues aux fauches.

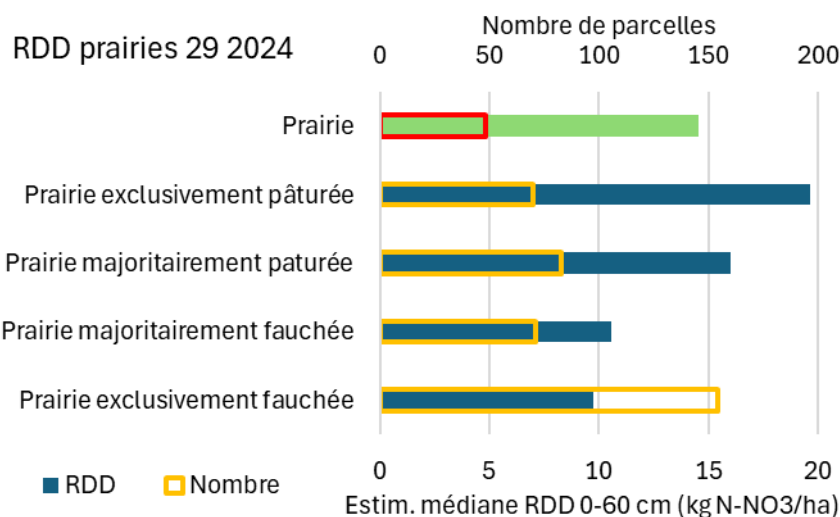


Figure 7: Effet du type de prairie (fauchée ou pâturée) sur le niveau de reliquat médian pour les RDD réalisés en 2024 dans le Finistère.

Le mode d'exploitation de la prairie est une information importante pour expliquer les RDD. Les différences qui en découlent sont hautement significatives sur le plan statistique (Figure 8). De plus, c'est une information correctement renseignée par l'enquête auprès des agriculteurs. Cette information permet de rendre plus pertinent le diagnostic.

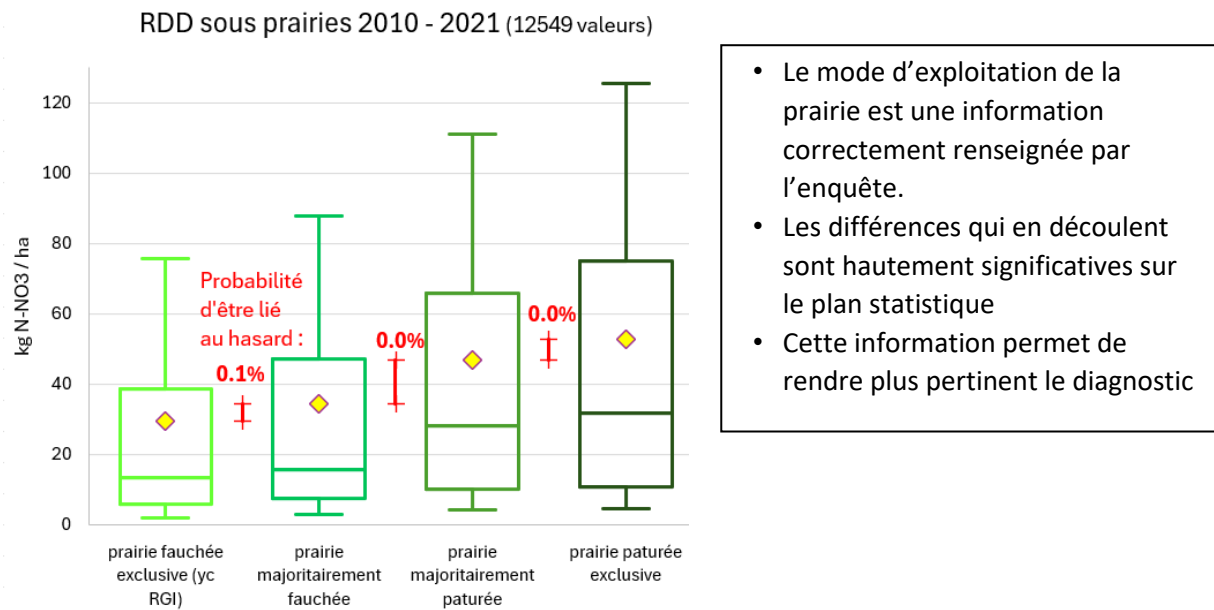


Figure 8: RDD mesurés de 2010 à 2021 en fonction du type de prairie.

1.2 Variabilité liée aux conditions climatiques

Le raisonnement de la fertilisation repose sur une estimation à priori des fournitures du sol. Des résultats d'expérimentation ont permis d'évaluer ces fournitures du sol et, au fil des années, d'établir des références par culture pour la Bretagne. Néanmoins, les conditions de minéralisation (qu'on peut évaluer par un calcul de jours normalisés) peuvent être différentes d'une année à l'autre et plus ou moins en phase avec la croissance des cultures qui ne sont pas forcément capables d'ajuster leurs prélèvements en conséquence. Une étude statistique du nombre de jours normalisés calculé pour une culture de maïs à Kerlavic par exemple montre une amplitude de 45% pour 9 années sur 10, ce qui peut correspondre à des fournitures du sol variant dans un intervalle de + ou - 30 kg N / ha autour de la moyenne.

Les parcelles de référence permettent de cerner cet effet climatique qui peut être un effet « année » pour une même zone ou un effet « géographique » pour une même année. La hiérarchisation des reliquats « post absorption » réalisés en 2011 sur les parcelles de référence en fonction du taux de remplissage de la réserve utile en eau présenté en Figure 9 l'illustre. La minéralisation de l'azote étant favorisée lorsque le sol est humide et chaud. Les mesures de RPA étant réalisées en fin d'été, elles sont grandement influencées par la minéralisation d'été qui est plus élevée lorsque la RU est remplie à plus de 50% (sol humide) et qui a bénéficié de sol chaud en été mais cela impacte également les RDD.

Chaque année et chaque secteur étant différent au niveau météo, il est donc essentiel d'ajuster le niveau de RDD attendu en fonction des conditions météo de l'année et du secteur, ce qui est possible grâce au réseau de parcelles de référence.

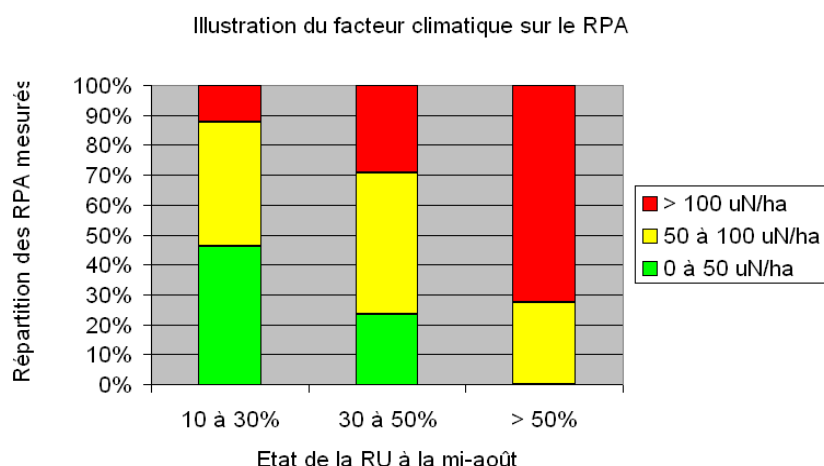


Figure 9: Répartition des niveaux de RPA mesurés en 2011 en fonction du remplissage de la RU.

Stress hydrique et flush de minéralisation d'automne sous prairie

Un stress hydrique suivi d'une réhumidification du sol peut induire des « flush » de minéralisation. Il s'agit d'une minéralisation importante de l'azote organique présent dans le sol lorsque les conditions redeviennent favorables. Les quantités minéralisées peuvent être importantes dans ces cas-là et parfois difficiles à expliquer. La Figure 10 présente l'effet du niveau du stress hydrique de 2016 sur les reliquats d'automne sous prairie en comparaison avec les reliquats de 2013 à 2015. On voit que pour un stress hydrique très sévère, les reliquats ainsi que leur variabilité peuvent être de 5 à 10 fois plus élevés que lorsqu'il n'y a pas de stress hydrique.

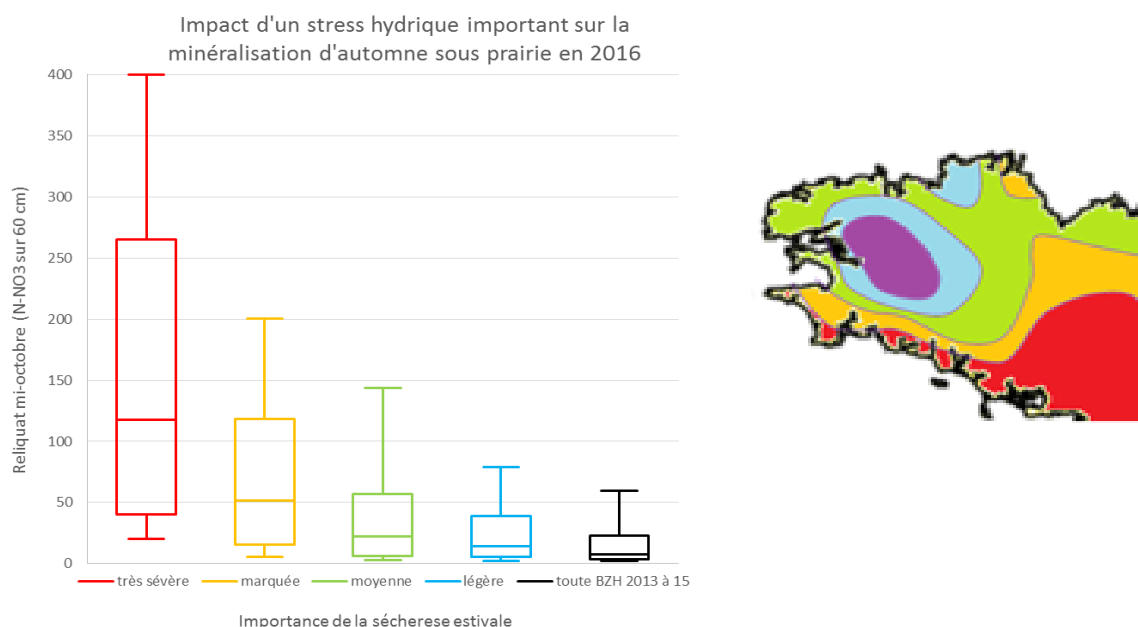


Figure 10: Reliquats d'automne sous prairie suite à différents niveaux de stress hydrique en 2016 comparativement aux données de 2013 à 2015. La carte présente les zones de sécheresse estivale en 2016 : rouge = très sévère, jaune = marquée, vert = moyenne, bleu = légère, violet = pas de sécheresse.

Variabilité des reliquats entre les parcelles et entre les années - données du réseau Mh

Les valeurs de reliquats fin (Rf) mesurées sur les parcelles du réseau Mh¹, souvent en octobre, témoignent d'une minéralisation d'automne importante des sols de Bretagne. C'est un des enseignements essentiels de ce dispositif. Les écart types sont également élevés et témoignent d'une large gamme des valeurs des Rf pour une année donnée et en absence de fertilisation (Tableau 1).

On observe également une variabilité entre les années (Tableau 1 et Figure 11), alors que la conduite des parcelles est identique depuis 2010 (ou 2011) sur toutes les parcelles (monoculture maïs ensilage sans fertilisation azotée et sol nu l'hiver). En 2013, alors que l'ensemble des parcelles du réseau Mh sont conduites sans fertilisation azotée depuis 3 ou 4 ans, la moyenne des reliquats est de 81 kg N-NO₃/ha sur l'ensemble du profil 0-90 cm. Dès que les conditions climatiques redeviennent favorables suite à un retour des pluies en fin d'été, des quantités importantes d'azote peuvent être à nouveau minéralisées, parfois sous forme de flush ; ceci, même sans fertilisation récente sur la culture. Ces résultats situent toute la problématique de la gestion des reliquats de début de drainage sur la région Bretagne. Les valeurs sont plus faibles pour 2014 dans la mesure où les prélèvements ont été effectués 15 à 20 jours plus tôt.

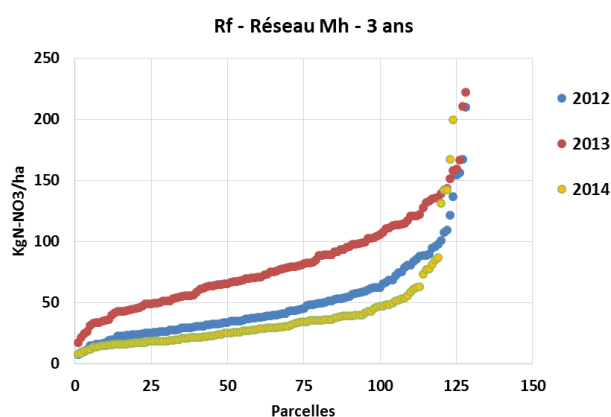


Tableau 1: Valeurs moyennes et variabilité de Rf des parcelles du réseau Mh.

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

Figure 11: Représentation des valeurs de Rf pour l'ensemble des parcelles du réseau Mh et par année

Cette variabilité selon les années est également clairement visible dans les RDD du PLAV (Figure 2) avec notamment la spécificité de l'année 2013.

1.3 Variabilité spatiale

La première cause de variabilité est sans doute la variabilité spatiale de la répartition de l'azote dans la parcelle. Cette variabilité peut avoir de nombreuses causes récentes ou beaucoup plus anciennes :

- Hétérogénéité du sol et de ses caractéristiques
- Irrégularité des épandages d'engrais ou de déjections (souvent cumulée sur les années)
- Irrégularité du comportement des cultures
- Regroupement de plusieurs parcelles d'histoire agronomique différente
- ...

Le premier moyen de réduire cette variabilité repose sur la qualité du prélèvement : nombre d'échantillons élémentaires et répartition dans la parcelle. 12 prélèvements sont donc un minimum.

La Figure 12 illustre la variabilité spatiale dans le cas d'une mesure de reliquat sortie d'hiver (RSH). On observe des valeurs de reliquat du simple au triple sur des zones voisines d'une même parcelle. Sur

¹ Le projet Mh (2010-2015) a été réalisé par la Chambre d'agriculture de Bretagne et l'INRAE UMR SAS grâce à la participation financière de l'AELB, la DRAAF, la Région Bretagne, les Conseils Généraux du Finistère, des Côtes d'Armor et du Morbihan.
https://geosass.fr/web/?page_id=2987

l'horizon 0-25 cm, le coefficient de variation est de 29% et de 24% sur l'horizon 25-50 cm. La variabilité liée au prélèvement pourrait être encore plus importante dans le cas des reliquats « fin de culture » qui n'a pas encore subi l'homogénéisation liée à l'excédent hydrique hivernal qui se produit avant la mesure d'un reliquat sortie d'hiver (RSH).

Cartographies de l'azote minéral pour des reliquats "sortie d'hiver"

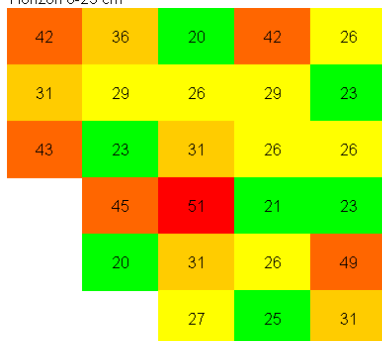
INRA Centre de Rennes Laboratoire d'agronomie

T. Morvan

Exemple 1: parcelle Rublet 2 Précédent maïs ensilage

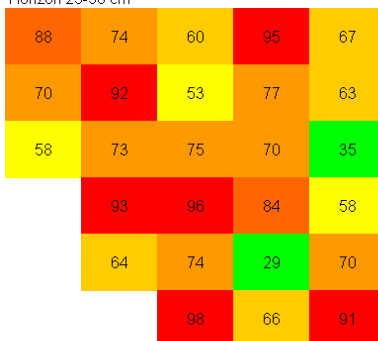
09/03/1992

Horizon 0-25 cm



Moyenne: 30,8 kg/ha
Coeff. De variation: 29%

Horizon 25-50 cm



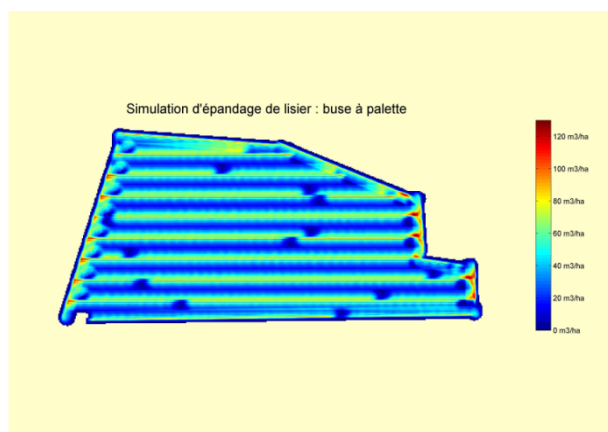
Moyenne: 73 kg/ha
Coeff. De variation: 24%

Pour des reliquats "sortie d'hiver", l'étude mettait en évidence un coefficient de variation moyen de l'ordre de 20% pour un profil à 12 sondages
Pour un reliquat "début drainage", il faut encore ajouter la variabilité liée aux apports de fertilisants et à l'absorption d'azote par la culture

Figure 12: Variabilité spatiale du reliquat sortie hiver mesuré au sein de 26 placettes au sein d'une même parcelle pour 2 horizons de sol (0-25 cm et 25-50 cm).

Variabilité liée aux apports organiques

Des hétérogénéités peuvent être créées par les pratiques culturales, telles que les épandages. En effet, lors des épandages, les apports ne sont pas uniformes (Figure 13). Ces hétérogénéités se cumulent souvent d'année en année et induisent une variabilité notamment sur les reliquats.



Résultats Station des Cormiers

Simulateur d'épandage du CEMAGREF

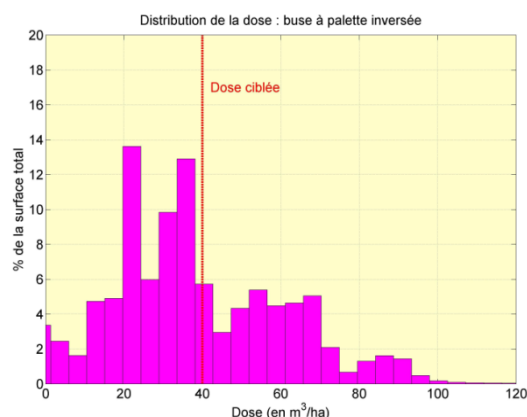


Figure 13: Résultat de simulation de répartition de l'épandage de lisier avec une buse à palette (gauche) et de la distribution de la dose apportée (droite).

Hétérogénéité de la minéralisation

Lors d'un essai réalisé sur une parcelle de blé à Plélo (Figure 14), l'analyse des bilans d'azote met en évidence une différence de minéralisation de l'azote du sol entre les bandes. Les écarts à la moyenne vont de +/- 25 kg N/ha. Sur une parcelle, il y a donc une variabilité des fournitures du sol issues du type de sol et des pratiques culturales qui peut influencer les mesures de RDD. Cela justifie le fait d'être exigeant sur les prélèvements pour les reliquats, avec au minimum 12 prélèvements correctement répartis sur la parcelle.

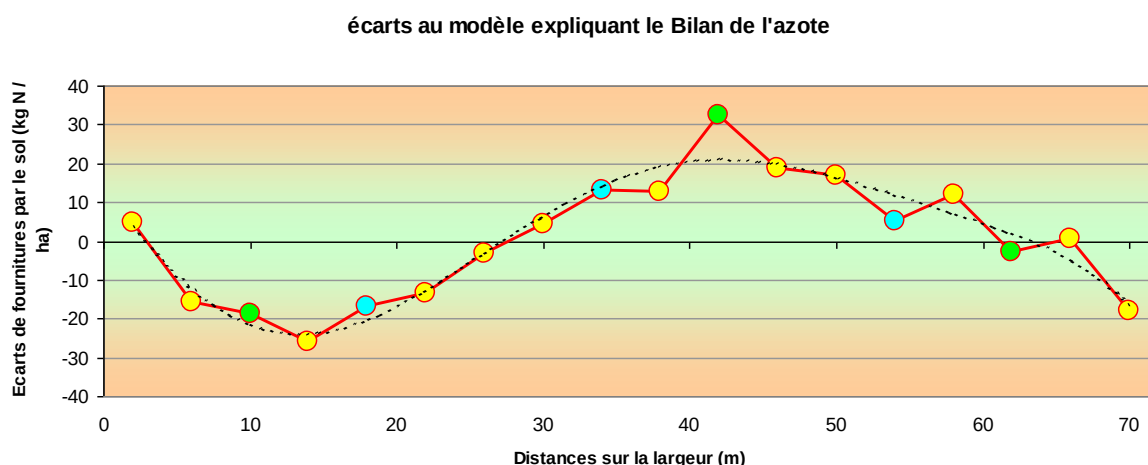
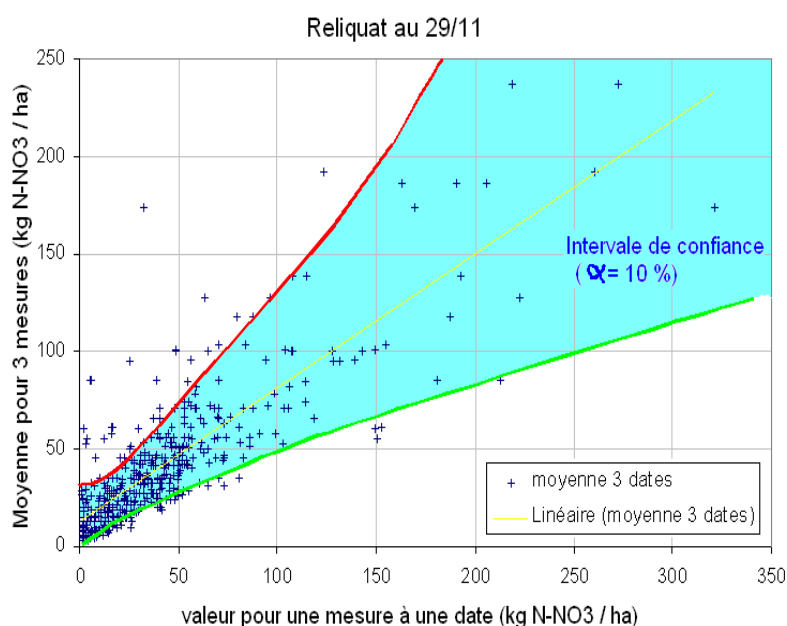


Figure 14: Ecart des fournitures en azote du sol par rapport à la fourniture moyenne en fonction de la distance. Cas d'une expérimentation sur une parcelle de blé en 2011 à Plélo.

1.3.1 Approche de la variabilité statistique des reliquats

Les parcelles de référence du PLAV ayant été analysées plusieurs fois, il est possible de se faire une idée de la variabilité statistique des reliquats en examinant les écarts entre chacune des analyses une fois ramenées au 29/11.

L'intervalle de confiance, pour un risque de 10% de conclure à une différence qui n'existerait pas, dépend de la valeur du reliquat mesuré.



Pour une mesure de 100 kg N/ha, la moyenne varie de 50 à 130. Inversement, si dans une parcelle, le reliquat moyen est de 100 kg N / ha, le résultat d'une mesure peut varier de 70 à 250 kg N / ha.

1.4 Autres facteurs de variabilité

Effet laboratoire

D'autres facteurs viennent également ajouter de la variabilité aux mesures de RDD. Bien que les mesures de reliquats soient normées, il peut exister des effets laboratoires, liés notamment à l'acheminement des échantillons au laboratoire (en frais ou congelé), au mode de gestion de l'échantillon au laboratoire, à l'analyse, etc. C'est pourquoi il est recommandé d'avoir un seul laboratoire pour une campagne de mesure afin de s'assurer de la représentativité des RDD et qu'ils soient comparables entre eux. Dans le cas de grosses campagnes de mesures, il pourrait toutefois être envisageable d'avoir un 2^{ème} laboratoire pour un secteur défini. Mais cela augmenterait le temps d'analyse des données.

NH₄

Lors d'une mesure de reliquat, l'azote nitrique (NO₃) et l'azote ammoniacal (NH₄) sont mesurés. Le NH₄ est généralement assez faible dans les RDD et doit être au maximum de 5-10 kg N/ha. Toutefois, les résultats d'analyse donnent parfois des valeurs bien plus élevées. Elles sont souvent issues d'une minéralisation qui aurait eu lieu après le prélèvement et qui n'aurait pas été complète, jusqu'au NO₃. Ce NH₄ ne correspond donc pas à ce qui était présent au champ. Pour éviter cette source de variabilité, nous n'interpréterons que le NO₃ qui représente la part la plus importante de l'azote minéral présent dans un sol.

1.5 Comment s'affranchir de la variabilité connue ?

Tous les facteurs de variabilité présentés ci-dessous justifient le fait :

- d'avoir un réseau de mesures de reliquats incluant des parcelles de référence (une mesure unique ne peut pas s'interpréter)
- d'être le plus précautionneux possible sur le prélèvement des échantillons et la collecte des informations agronomiques.
- d'interpréter les reliquats en considérant les différents facteurs de variabilité

Notre analyse des données de reliquats intègre la météo de l'année, l'effet de la date de prélèvement et les pratiques culturales pour que le RDD soit un indicateur pertinent et comparable entre les parcelles. La méthode proposée pour intégrer ces éléments est présentée ci-dessous. Elle nécessite la mise en place d'un réseau de référence pour lesquelles la fertilisation est correctement raisonnée et qui sert de base pour réaliser les corrections et interprétations.

2 Prélèvement et choix des parcelles

2.1 Prélèvement des échantillons

Avec un prélèvement précautionneux de minimum 12 sondages, l'échantillon devrait être représentatif de la parcelle. Une formation des préleveurs est essentielle chaque année pour leur donner les **recommandations** pour un bon prélèvement et les **informer de l'utilité** de ce qui leur est demandé.

Pour réaliser un bon prélèvement, il faut notamment :

- 12 sondages réalisés en diagonale ou en cercle dans la parcelle
- Bien répartir les sondages sur la parcelle en évitant notamment les coins, les zones proches des pylônes, arbres, etc. qui peuvent créer des hétérogénéités importantes lors des épandages
- Ne pas être trop régulier dans l'écart entre 2 sondages pour ne pas prélever à chaque fois dans des zones équivalentes au niveau des apports organiques par exemple
- Sur prairie, écarter l'herbe pour prélever. Ne pas prélever dans les endroits où il n'y a pas d'herbe (car zone de pissats, particulière, etc.).

Les préleveurs ne doivent pas avoir a priori connaissance si une parcelle fait partie du réseau de référence pour éviter qu'elle soit traitée différemment (par exemple préleveur différent pour les parcelles de référence, nombre de sondages différent, etc.).

2.2 Questionnaire sur les pratiques agricoles

Pour chaque parcelle, l'agriculteur devra renseigner une fiche sur ses pratiques agricoles. Les informations seront ensuite saisies par le préleveur dans un logiciel spécifique du laboratoire afin d'être disponible sous format Excel pour l'analyse des données.

Le questionnaire doit être renseigné avec :

- Des informations sur la culture diagnostiquée, la culture précédente, l'antécédent et la culture suivante, ainsi que le type de prairie pour les prairies. Cela permettra de prendre le reliquat attendu correspondant à la bonne situation agronomique
- Les types de produits organiques habituellement apportés pour ajuster éventuellement la minéralisation de l'azote à considérer lors de la correction de la date
- L'éventuel retournement de prairie et sa date pour intégrer le supplément de minéralisation que cela induit
- L'état de couverture du sol au moment du prélèvement et la date de semis de couvert d'interculture afin d'intégrer l'azote absorbé par le couvert

2.3 Le réseau des parcelles de référence

Le réseau de parcelles de référence permet de considérer l'effet de la météo, qui prend en compte l'effet « année » mais aussi du secteur géographique et des pratiques culturales sur les reliquats début drainage de l'année. Ce sont des parcelles pour lesquelles la fertilisation a été raisonnée et correctement réalisée. Elles sont utilisées dans l'analyse des données.

Critères de choix des exploitations de référence

- PPF réalisé par un organisme de confiance avec un outil reprenant les recommandations du GREN Bretagne
- Exploitation où on sait que le PPF est réellement appliqué par l'agriculteur

Typologie des exploitations et des parcelles

Les parcelles de référence doivent permettre d'analyser les RDD pour les différentes typologies agronomiques : culture (maïs, céréales et prairie), précédent, conduite de prairie, etc. C'est donc dans le choix des exploitations qu'il faudra être rigoureux pour avoir suffisamment de parcelles de chaque type. Nous aurons donc des exploitations de référence avec des bovins, porc, volaille, etc. Pour chaque exploitation de référence, il pourra y avoir plusieurs parcelles par culture.

Nombre de parcelles de références et de mesures par campagne

Nécessité d'avoir suffisamment de parcelles sur chaque secteur et par typologie pour réaliser une analyse statistique valable.

Pour s'assurer de la validité des reliquats sur les parcelles de référence et renforcer l'analyse sur la correction de la date, il est important de réaliser, pour chaque parcelle de référence, au minimum 2 à 3 mesures de reliquat par campagne en fonction de la durée de la période de prélèvement. Si la période de prélèvement dépasse un mois, 3 mesures de reliquats sont recommandées.

- **Pour la phase de test** : 30 parcelles x 2 dates = 60 mesures
- **Pour le dispositif sur la Bretagne entière** : à définir après la phase de test

2.4 Le réseau de parcelles lambda

Pour la phase expérimentale, les règles appliquées par la DRAAF pour le choix des parcelles lambda :

- la sélection de parcelles se fait parmi les cultures de céréales d'hiver, de maïs et de prairies
- pour qu'une culture soit sélectionnée sur une exploitation, il faut que l'exploitation comporte au moins 2 ha de cette culture et que la part de cette culture représente au moins 10% de la SAU de l'exploitation
- on ne sélectionne pas de parcelle de moins de 0,6ha
- lorsqu'une exploitation présente des parcelles répondant à ces critères pour les 3 types de culture (céréales, de maïs, prairies) -> on sélectionne les trois, sinon on retire la ou les cultures pour lesquelles les critères ne sont pas remplis
- pour chaque parcelle sélectionnée, une parcelle de substitution est également proposée

Pour le déploiement à la région, le nombre de parcelles reste à définir et les critères de sélection pourront être ajustés suite à l'expérimentation.

3 Méthode d'analyse et d'interprétation des RDD

3.1 Identifier le début drainage

La date de début drainage dépend des pluies de l'année, des cultures passées et en place et du type de sol, notamment de sa réserve en eau utile. Elle est donc variable d'un secteur à l'autre et d'une parcelle à l'autre.

3.1.1 Le bilan hydrique

Il est possible de réaliser une estimation de la date de début drainage en fonction du secteur grâce à un bilan hydrique simplifié sur l'année et un calcul de lame drainante. Le calcul est réalisé à partir du 1^{er} janvier ou avant pour avoir une réserve utile en eau (RU) remplie au démarrage du calcul. Le calcul est journalier (j) et intègre le niveau de remplissage de la RU (RRU) du jour précédent (j-1), la pluie et l'évapotranspiration réelle (ETR) du jour j.

$$RRU(j) = RRU(j-1) + Pluie(j) - ETR(j)$$

- La RU est généralement remplie en début d'année ou le sera peu après le 1^{er} janvier. La RRU initiale est donc souvent de 100 mm.
- $RRU(j)$ = remplissage de la RU du jour j
- $RRU(j-1)$ = remplissage de la RU du jour précédent (j-1)
- Le drainage commence (au jour j) lorsque la RU est remplie (100 mm), c.à.d. lorsque :

$$RRU(j-1) + Pluie(j) - ETR(j) > 0$$

Calcul de l'ETR

L'ETR est l'évapotranspiration réelle. Elle est calculée en considérant un coefficient cultural en fonction du stade de développement de la culture, l'humidité du sol et l'évapotranspiration potentielle.

ETP = Evapotranspiration potentielle, généralement disponible dans les données météo

ETM = Evapotranspiration maximale pour une culture si elle ne souffre pas de stress hydrique

$$ETM = ETP \times Kc$$

- Kc : le coefficient cultural de la culture qui dépend :
 1. De la culture
 2. Du stade de développement de la culture. Les dates des stades de cultures ont été définies à partir d'images satellites Sentinel.
 3. Les coefficients Kc sont disponibles sur le site de la FAO : <https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e0b.htm>
 4. Les coefficients culturaux de la FAO ont été interpolés entre les différents stades de développement et de couverture du sol au cours de l'année (Figure 15). Il est de 0.4 en sol nu et de 1 sous prairie.

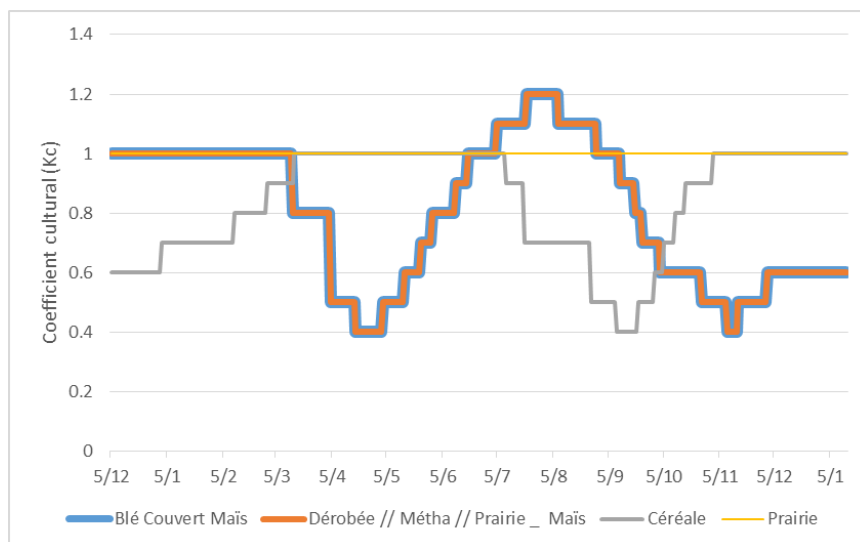


Figure 15: Evolution au cours de l'année des coefficients culturaux appliqués pour différentes successions

La transpiration des cultures peut être limitée par un stress hydrique et/ou une évapotranspiration potentielle élevée par exemple par la fermeture de ses stomates. Pour calculer l'évapotranspiration réelle (ETR), il est donc important d'intégrer le pourcentage de remplissage de la RU et l'intensité de l'ETP de la journée. L'ETR diminue en fonction du taux de remplissage de la RU et de l'intensité de l'ETP

$$ETR = ETM \times K_s$$

Avec K_s le coefficient lié au stress hydrique qui dépend de l'intensité de l'ETP et du niveau de remplissage de la RU (Figure 16).

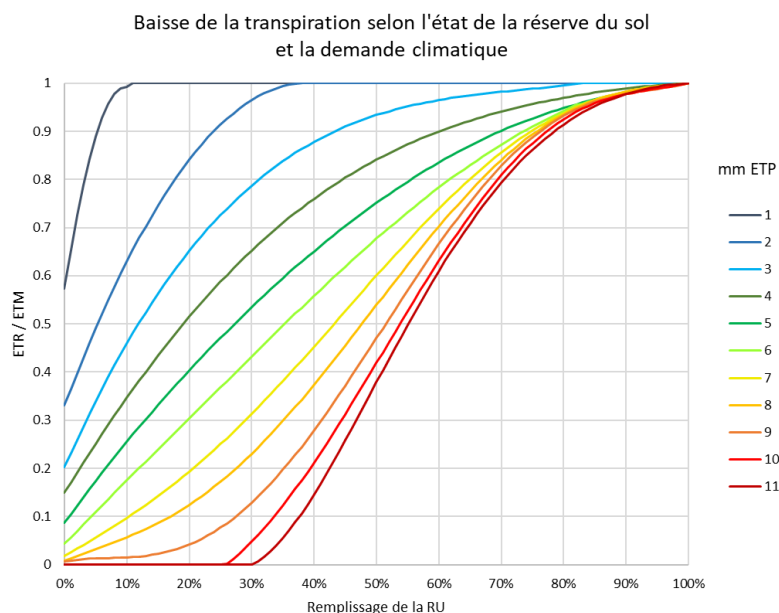


Figure 16: Evolution du coefficient de stress ($K_s = ETR/ETM$) en fonction du remplissage de la RU pour différents niveaux d'ETP (de 1mm – courbe bleu à 11mm – courbe rouge).

Comparaison avec d'autres données

La Figure 17 compare l'estimation de la réserve utile en eau (RU) par la méthode décrite ci-dessus avec celle obtenue sur des cartes de RU de météo France en 2011. La bonne correspondance des données entre les 2 méthodes tend à valider la démarche proposée ci-dessus.

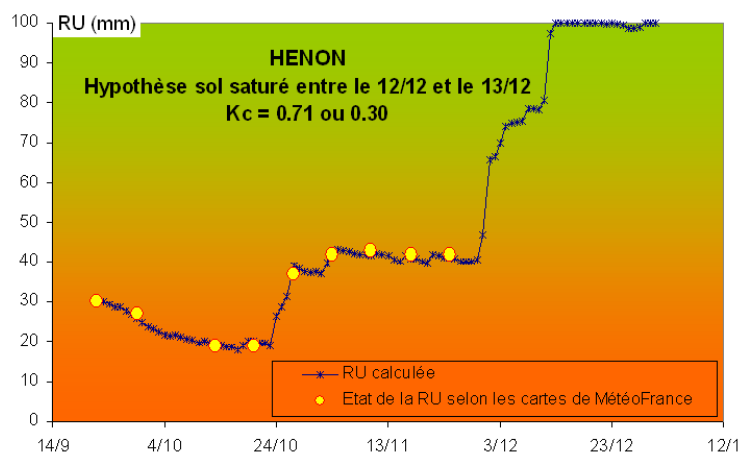


Figure 17: Comparaison de la réserve utile (RU) estimée par notre méthode (bleu) et par météo France (jaune) en 2011.

Une seconde vérification a été réalisée à partir des données d'humidité du sol mesurée en même temps que les reliquats sur la baie de St Brieuc en faisant la moyenne des stations du BV (données 2011). Cela correspond le mieux avec une Hcc de 24% sur le brut soit 31.5% sur le sol sec et une Hpf de 12% sur le brut, soit 13.5% sur le sec. Ces valeurs peuvent sembler relativement élevées ce qui peut s'expliquer par une sous-estimation des valeurs réelles de RU en prenant une valeur standard de 100 mm. Cela appuie les hypothèses de considérer une RU de 100 mm et une Hcc de 25% pour les calculs.

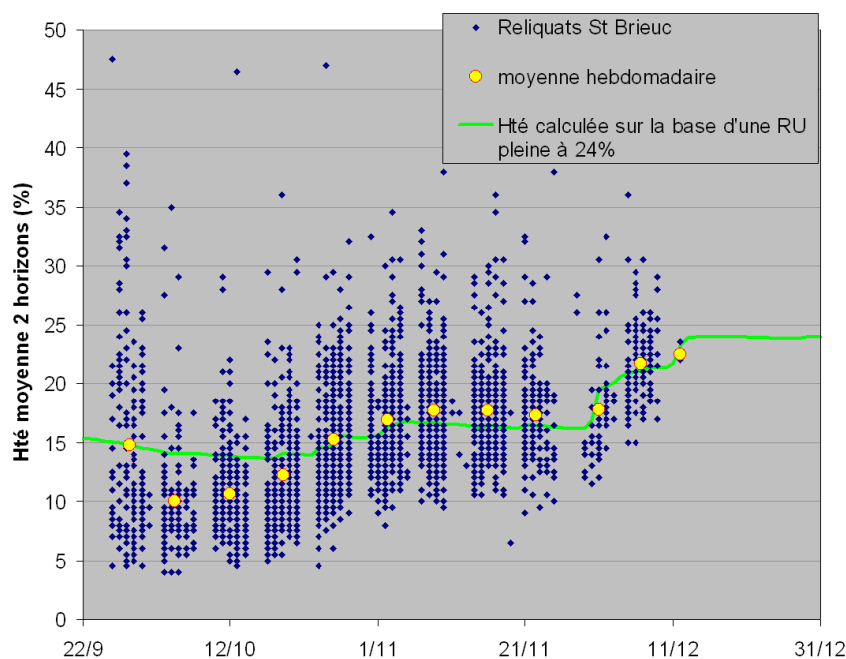


Figure 18: Comparaison de l'humidité du sol mesurée lors des analyses de reliquats avec l'estimation hebdomadaire d'humidité du sol à partir du bilan hydrique décrit ci-dessus. Données 2011 sur la Baie de St Brieuc.

3.1.2 Validation par des mesures piézomètres

Les dates de début drainage estimées grâce au bilan hydrique sont vérifiées à l'aide des courbes de hauteur d'eau obtenues par mesures piézométriques et disponibles sur le site ADES Eau de France (<https://ades.eaufrance.fr/>). La date de début drainage doit être proche de la date d'augmentation du niveau d'eau en fin d'été/début d'automne. Toutefois, ces courbes sont à regarder avec précautions car l'évolution de la hauteur d'eau dépend du biotope, de la profondeur des piézomètres, parfois du ruissellement, ...

Les mesures piézométriques ne sont pas suffisantes pour estimer la date de début drainage car il n'y a que quelques piézomètres qui ont les caractéristiques adéquates pour observer la date de début drainage (bonne profondeur, etc.). Toutefois, il est important d'utiliser ces données pour vérifier que le drainage est bien réel et pas seulement présent pendant quelques jours en septembre par exemple avant de reprendre bien plus tard dans la saison.

C'est grâce à la compilation des résultats des bilans hydriques et des courbes piézométriques que la date de début drainage pourra être estimée au mieux.

3.2 Correction de la date

Le reliquat évolue au cours de la période de prélèvement à cause de la pluie (et donc de la lixiviation), de la minéralisation et de l'absorption par le couvert. Il est donc nécessaire de ramener les valeurs de reliquats à la même date (début drainage ou à la 1^{ère} date de prélèvement si elle est proche du début drainage). Cette « correction de la date » est réalisée au pas de temps quotidien (Figure 19).

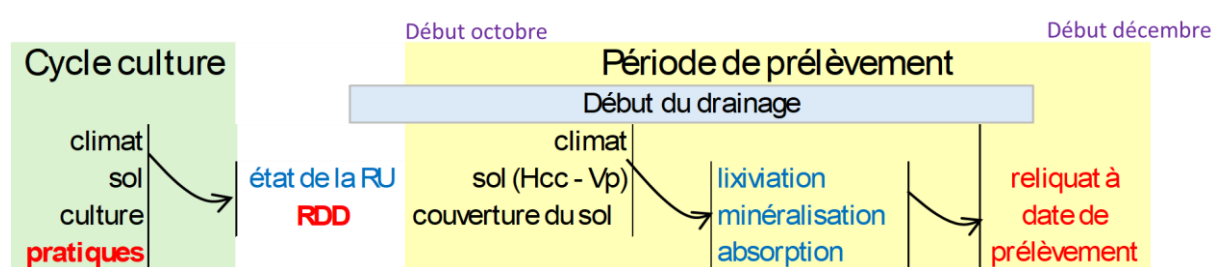


Figure 19: Schéma de la correction de la date du reliquat début drainage.

La correction de la date intègre des estimations :

- Du drainage et de la lixiviation
- De la minéralisation via notamment les jours normalisés (J_n)
- De l'absorption d'azote par les cultures ou couverts en place

Les calculs sont réalisés :

- Pour 1 type de sol (sol à $H_{cc} = 25\%$, $RU = 100$ mm)
- 3 types de cultures pour définir les K_c (couvert (janvier) – maïs (mesure RDD) ou céréales – couvert (RDD) ou prairie ($K_c = \text{tout le temps } 1$))
- 3 niveaux de couverture du sol (couvert faible ou nu, couvert moyen, couvert fort) → pour prise en compte de l'absorption dans le calcul de correction de la date
- 13 niveaux de RDD (initiaux de RDD = 13 courbes sur lesquelles on replace les points après)
- 60 dates de prélèvements
- Environ 60 stations météo, ce qui fait environ 1 station météo tous les 20 km.

3.2.1 Calcul de la lixiviation

La lixiviation d'azote dépend de la teneur en azote du sol dans les différents horizons et de la lame drainante.

Lame drainante = Pluie – ETR – Eau nécessaire à remplir la RU entre le jour j-1 et le jour j

Des abaques permettant de définir le taux d'azote lixivié en fonction de la répartition d'azote dans le profil et de la lame drainante ont été développés par ARVALIS et le COMIFER². Les valeurs ont été interpolées pour avoir une continuité dans les coefficients à considérer.

- Les abaques d'ARVALIS sont utilisés pour transformer le drainage en lixiviation
 1. Pour différents types de sol (on retient le sol avec une Hcc = 25%)
 2. Pour une répartition donnée de l'azote dans le profil de sol qui peut être ajustée. On retient 52% de l'azote dans le 1^{er} horizon, 30% dans le 2^{ème} horizon et 19% dans le 3^{ème} horizon car c'est la situation attendue de distribution de RDD au sein d'un profil de sol. Ce chiffre est issu de la moyenne des RDD de toutes les mesures réalisées depuis 2010 sur les BVAV (> 55 000 mesures).
 3. La feuille de calcul issue des abaques nous donne la part d'un RDD 3 horizons qui reste pour une lame drainante donnée (on peut aussi faire pour 2 horizons)
 4. Pour connaître la quantité d'azote lixiviée, il faut faire la somme de ce qui est perdu à une certaine profondeur à partir d'un horizon. L'abaque nous dit pour chaque horizon (profondeur) la quantité de N perdue au-delà d'une certaine profondeur. Exemple : mon reliquat à 15 cm est de X1 et j'en ai perdu Y1 au-delà de 90 cm + reliquat à 45 cm est de X2 et j'en ai perdu Y2 au-delà de 90 cm + reliquat à 75 cm est de X3 et j'en ai perdu Y3 au-delà de 90 cm. La lixiviation est donc de Y1 + Y2 + Y3.
- Hypothèses importantes :
 1. Tous les horizons sont les mêmes (texture, etc.)
 2. RU de 100 mm
 3. Répartition moyenne sur 50 000 lignes de RDD au départ de 53 (Hz1), 30 (Hz2), 19 (Hz3)
 4. Si travail sur 2 Hz, on met l'azote dans le profil à 45 cm et 75 cm – décalage des horizons pour avoir les pertes au-delà de 90 cm.

La Figure 20 présente l'incertitude sur la part de RDD restant dans le sol en fonction de la lame drainante pour 3 hypothèses : l'humidité à capacité au champ, la répartition d'azote dans le profil et la profondeur de prélèvement. Entre la date de prélèvement et le début drainage, la lame drainante sera normalement assez faible et ne dépassera que rarement 100 mm. Pour la gamme de lame drainante de 0 à 100 mm :

- L'hypothèse de Hcc a donc peu d'effet sur la part de RDD restante
- La répartition d'azote dans le profil a un effet de 10% maximum sur la part de RDD restante entre la répartition homogène de 33%/33%/33% et la répartition probable d'avoir plus d'azote dans le 1^{er} horizon de sol lorsque le drainage débute de 52%/30%/19%.

² Page sur le site d'Arvalis expliquant l'estimation de la lixiviation à partir de la lame drainante, dernière consultation le 29/07/2025. <https://www.arvalis.fr/infos-techniques/reactualiser-les-valeurs-de-reliquat-azote-selon-la-lame-drainante>

Tableaux d'ajustement de la lixiviation en fonction de la lame drainante (Comifer, 2012). <https://www.arvalis.fr/file-download/download/public/230871>

- Par contre, le fait de ne considérer que 2 horizons de sol au lieu de 3 a un effet important même dans les faibles gammes de lame drainante. Il est donc important d'avoir un prélèvement de RDD sur 3 horizons de 30 cm.

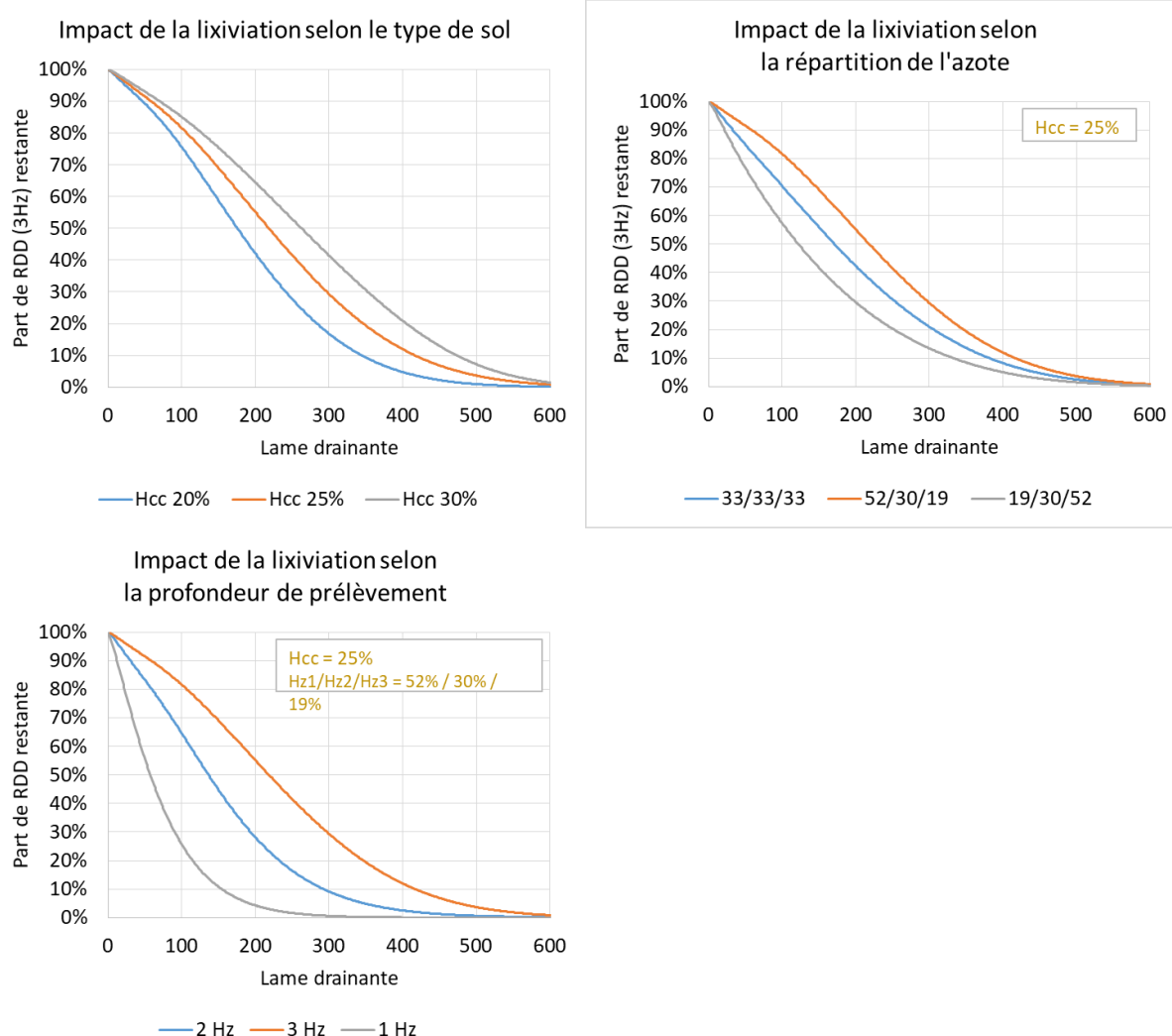


Figure 20: Effet de 3 hypothèses d'analyse des RDD sur la part de RDD restant dans le sol en fonction de la lame drainante: humidité à capacité au champ, répartition d'azote dans le profil et profondeur de prélèvement.

3.2.2 Calcul de la minéralisation

La minéralisation de l'azote du sol est estimée par une vitesse potentielle de minéralisation (V_p) multipliée par des jours normalisés (J_n) qui correspondent à l'effet du pédo-climat.

$$\text{Minéralisation} = V_p * J_n$$

La V_p dépend du sol et du système de culture. Comme ces informations peuvent être difficiles à obtenir dans le cadre des mesures de RDD, une V_p identique est utilisée pour toutes les parcelles. Dans un 1^{er} temps, la valeur utilisée est celle de $V_p = 0.85$, qui correspond à la V_p moyenne des parcelles du réseau Mh. Cette valeur pourra être ajustée en fonction des typologies agronomiques des parcelles et/ou par l'analyse des mesures de reliquats sur une période sans drainage.

Calcul des jours normalisés

L'activité biologique du sol à l'origine des phénomènes de minéralisation dépend principalement de la température et de l'humidité du sol. Pour prendre en compte cet effet du pédoclimat, on utilise des jours normalisés. Un jour normalisé correspond à un jour calendaire lorsque l'humidité du sol est à la capacité au champ et sa température à 15°C. Lorsque le sol est plus sec pour une même température, le Jn sera plus petit que 1. Lorsque le sol sera plus chaud pour une humidité à la capacité au champ, Jn sera supérieur à 1. Des fonctions « humidité », $h(\vartheta)$, et « température », $g(T)$, ont été développés pour estimer les Jn de manière journalière.

$$Jn = g(T) \times h(\vartheta)$$

Le modèle logistique de **température du sol** (Brisson et al, livre STICS) est une équation complexe. Une fonction exponentielle simple permet de très bien approcher cette équation, surtout pour la gamme de température hivernale rencontrée en Bretagne (Figure 21).

Le modèle logistique

$$g(T) = \frac{A_L}{1 + (A_L - 1) \exp(-K_L (T - T_{ref}))}$$

$$A_L = 36 \text{ et } K_L = 0.119,$$

Equation utilisée pour la température

$$g(T) = 0.1923e^{0.1099(T)}$$

où T est la température journalière du sol. Par simplicité, nous considérons que la température du sol est égale à la température moyenne de l'air, ce qui est vrai en moyenne sur l'année.

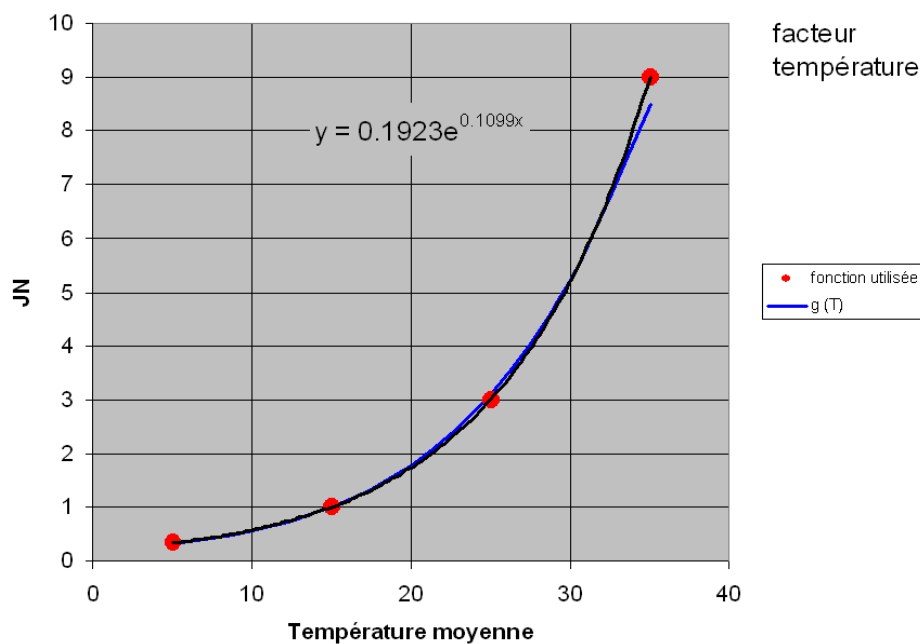
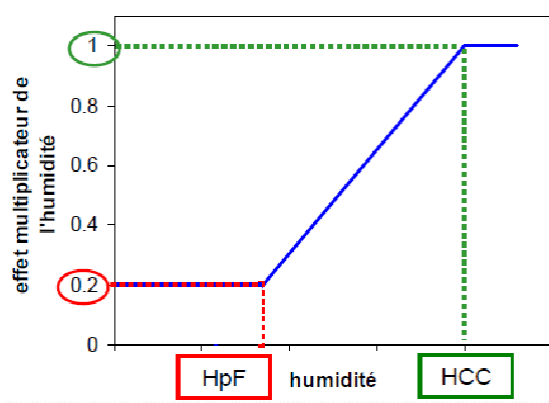


Figure 21: Comparaison de la fonction température logistique et l'équation simplifiée utilisée en Bretagne pour calculer les Jn.

Le facteur « **humidité du sol** » a une forme plus simple sur un plan mathématique

Le modèle linéaire (Mary *et al.*, 1999)

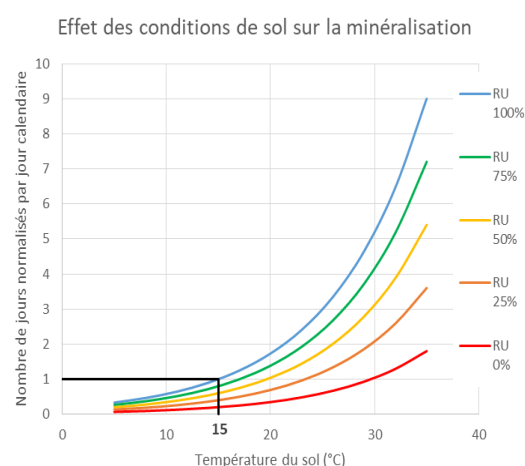
$$h(\theta) = 1 - (1 - h_{PF}) \left(\frac{\theta_{CC} - \theta}{\theta_{CC} - \theta_{PF}} \right)$$



Le paramètre « humidité du sol » n'est pas directement accessible avec les données météo et nécessite la réalisation d'un bilan hydrique journalier.

Par simplification, nous avons considéré que le sol était à la capacité au champ lorsqu'une réserve utile de 100 mm était pleine et que l'humidité correspondait au point de flétrissement lorsque celle-ci était épuisée.

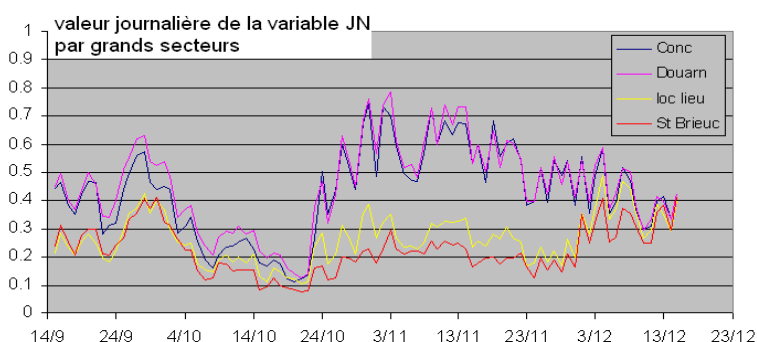
Effet des fonctions humidité et température du sol sur les jours normalisés



L'activité microbienne croît de manière exponentielle avec la température (dans une certaine limite) et de manière proportionnelle au taux de remplissage de la réserve en eau du sol. La Figure 22 présente le nombre de jour normalisé par jour calendaire en fonction de la température du sol et pour différents niveaux de remplissage de la RU. On observe, par exemple, pour un sol à 15°C et à la capacité au champ 1 jour calendaire correspond à 1 Jn. De même qu'un sol à 20°C dont la réserve en eau est à moitié pourvue. On remarquera notamment que pour un sol chaud (août) le facteur humidité est d'un impact drastique.

Figure 22: Nombre de jours normalisés en fonction de la température du sol et d'un niveau de remplissage de la RU.

La variable « jours normalisés » fait apparaître des différences nettes entre la zone « Cotes d'Armor – nord Finistère » d'une part et « Sud et Ouest du Finistère » d'autre part pour les données de 2011 (Figure 23). Ces différences sont liées essentiellement à l'état de la réserve en eau des sols qui a des



conséquences sur la minéralisation, mais aussi sur la croissance des plantes et donc l'absorption d'azote. On notera donc des conditions de minéralisation différentes entre zones et qui doivent être prises en compte pour l'interprétation globale des valeurs de reliquats observées. Cela renforce l'intérêt de **sectoriser le RDD attendu.**

Figure 23: Evolution des jours normalisés pour les baies de Concarneau, Douarnenez, Lieu de Grève, Saint-Brieuc pour l'automne 2011.

3.2.3 Absorption azote

Pour prendre en compte l'effet du couvert végétal pour ramener la valeur de reliquat au début drainage, il est nécessaire d'estimer la quantité d'azote absorbée par le couvert par rapport à la date de début drainage.

En fonction des dates de prélèvement, début drainage, semis et du développement du couvert, **les corrections pour considérer l'absorption d'azote par les couverts pourront être positives ou négatives.**

L'azote absorbé par un couvert d'interculture dépend :

- De la quantité de biomasse produite par le couvert depuis son semis qui peut être estimée grâce à la somme des températures journalières base 0 et d'abaques d'Arvalis
- Des besoins en azote du couvert en fonction de son stade de développement et de l'azote disponible

Ces dernières années, des abaques ont été établis par la Chambre d'agriculture de Bretagne, à partir de références d'Arvalis, pour estimer la quantité d'azote absorbé par un couvert végétal en fonction de son développement. Ils ont été validés par le GREN Bretagne et sont utilisés dans le Plan Prévisionnel de Fertilisation azotée qui permet de calculer la dose d'azote à apporter aux cultures (Grille de calcul de la dose d'azote prévisionnelle pour la rotation dérobée - maïs en Bretagne, GREN Bretagne - version 2023 - Annexe 7).

Tableau 2 : Estimation de l'azote absorbé par un couvert en fonction de son développement. Les images avec la botte permettent d'apprécier au champ le développement d'un couvert.

Développement végétatif de la culture en place (voir visuel ci-joint)	Matière Sèche sur pied (T/ha)	Sommes de températures correspondantes	Azote absorbé parties aériennes (kg N / ha)		
Couvert faible	0.5	460	15	Couvert faible	
Couvert Moyen	1.5	720	45	Couvert moyen	
Couvert fort	2.5	915	65	Couvert fort	

3.2.4 Correction du reliquat

A partir des éléments présentés ci-dessus, nous pouvons estimer la valeur qu'aurait eu le reliquat s'il avait été réalisé à la date du début drainage. Ce reliquat « corrigé » se calcule en intégrant la minéralisation, la lixiviation éventuelle et l'absorption d'azote par le couvert. Les équations de calcul à considérer dépendent des dates de prélèvement, début drainage, semis du couvert (Figure 24).

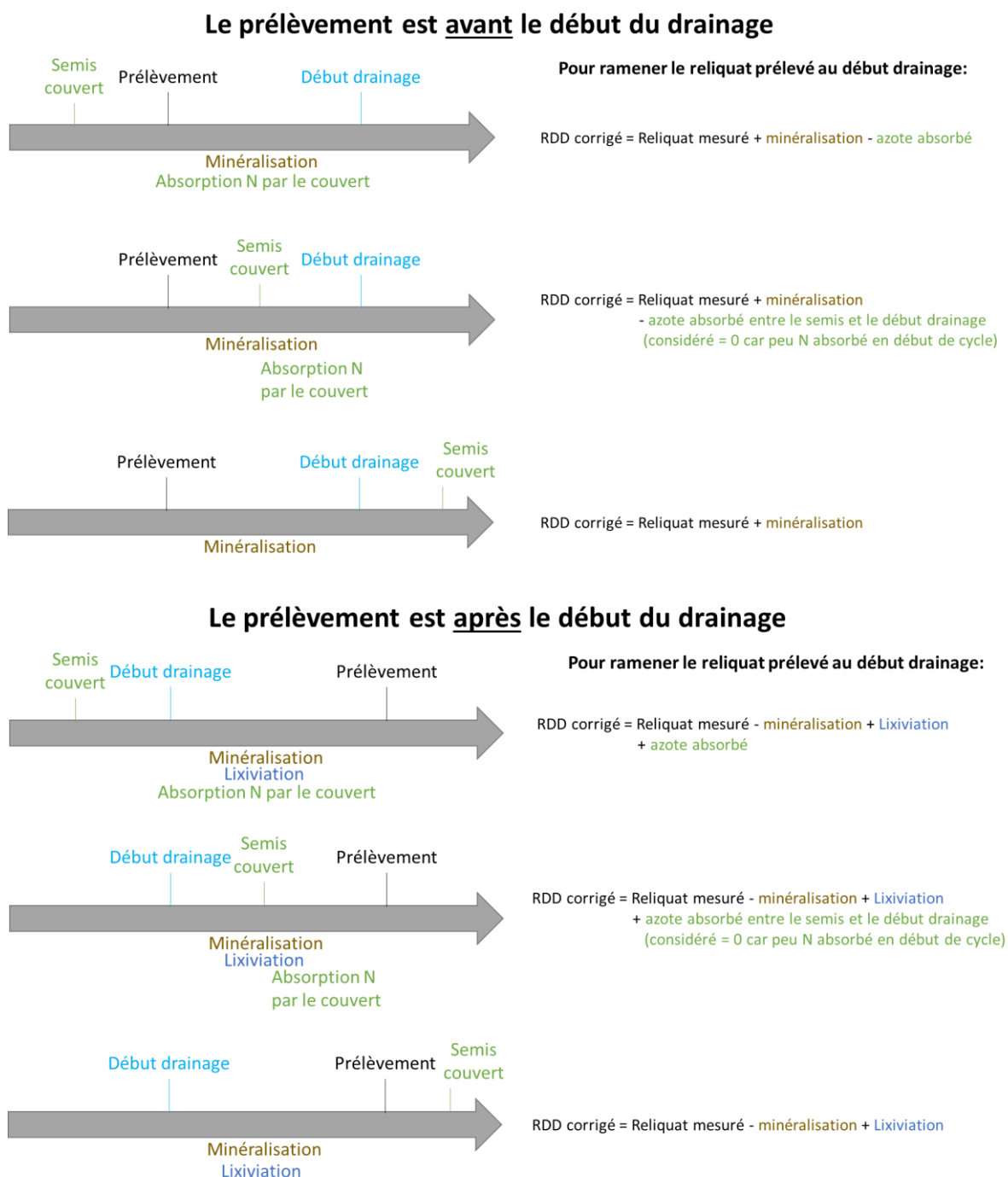


Figure 24: Equations de correction du reliquat pour le ramener au début drainage en fonction des dates de prélèvement, début drainage et semis du couvert.

Pour les différentes situations, des abaques sont établis pour pouvoir rapidement comparer les reliquats à date identique.

Les abaques sont réalisés pour 3 cultures (maïs, céréales, prairies), 3 niveaux de développement du couvert (faible, moyen, fort), 13 valeurs de RDD et 60 stations météo, ce qui fait 7 020 abaques (Figure 25 gauche). Entre les valeurs d'abaques, les données sont interpolées pour pouvoir corriger toutes les données de reliquats.

En pratique, pour la station météo considérée, la situation agronomique considérée est une date de prélèvement. On place notre reliquat mesuré dans les estimations de RDD issue des abaques (les courbes) pour pouvoir ensuite le corriger à la date souhaitée (en le décalant à gauche si le drainage a lieu avant le prélèvement ou à droite si le drainage a lieu après le prélèvement) (Figure 25 droite).

Chaque année, les abaques doivent être mis à jour avec les **données météo de l'année**.

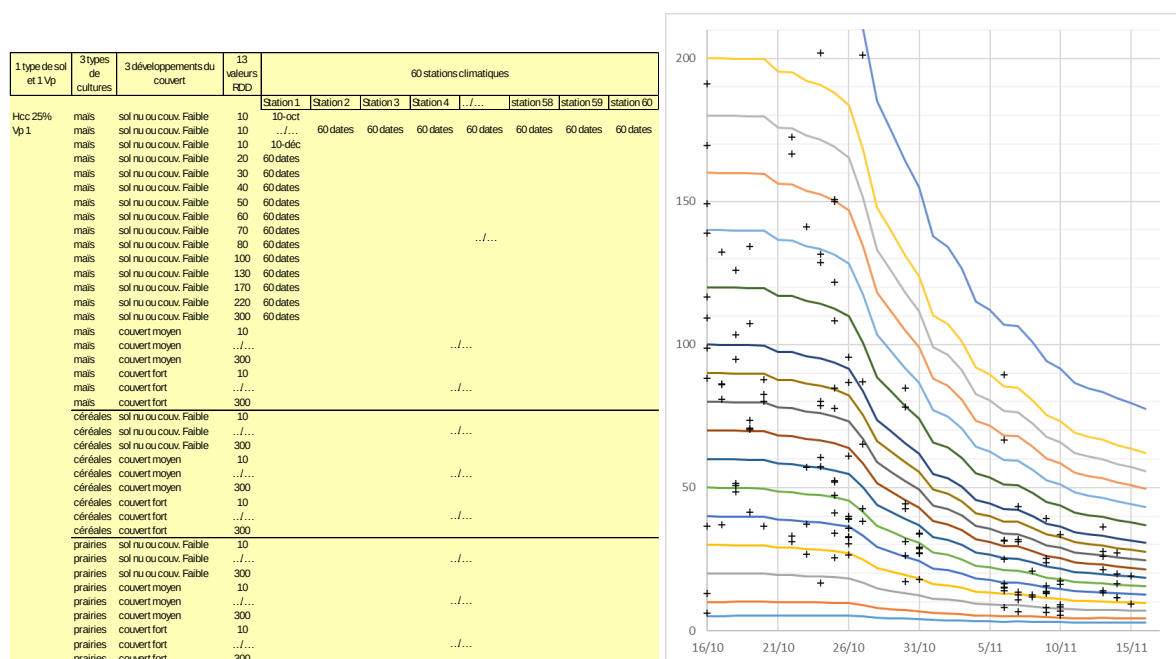


Figure 25: Liste des abaques disponibles (gauche). Exemple d'abaque pour une station météo, une culture, un niveau de développement du couvert et plusieurs niveaux de reliquats (droite).

3.3 Estimation du reliquat attendu

Les valeurs de reliquats étant dépendantes des conditions météo de l'année, elles sont donc différentes chaque année. Pour interpréter une valeur de reliquat, il est nécessaire de la comparer à un « reliquat attendu », qui serait le reliquat obtenu sur une parcelle où la fertilisation aurait été correctement effectuée et n'ayant pas eu d'accident de culture. **L'estimation du reliquat attendu se fait donc à partir des reliquats mesurés sur les parcelles de référence.**

Le reliquat attendu sera estimé pour différentes situations agronomiques : culture, précédent, culture suivante, etc. Il peut être estimé **pour la date du début drainage ou la date de prélèvement**.

- la date du début drainage a l'avantage d'être identique pour un secteur et donc d'avoir la même valeur de reliquat attendu pour les agriculteurs d'un territoire.
- la date de prélèvement a l'avantage de pouvoir être directement comparée à la valeur reçue par l'agriculteur via le laboratoire

3.3.1 Méthode d'estimation du reliquat attendu

Le travail est réalisé pour chaque situation agronomique (culture, précédent, etc.).

Les reliquats ne suivant pas une loi normale (pas de valeur sous 0 et pas de limite max), il est préférable de travailler avec les logs des reliquats car les valeurs hautes (parfois aberrantes) pourraient avoir un effet important sur les moyennes. Utiliser la médiane reviendrait à ne pas utiliser certaines données, ce qui n'est pas toujours justifié. La loi normale des logs est très proche de la distribution de la population alors que ce n'est pas le cas pour la loi normale des RDD (Figure 26). **Le reliquat attendu est donc calculé, par situation/typologie, sur l'estimation de la médiane via la moyenne des logs des parcelles de référence.** Avec l'exponentielle, on peut ensuite retrouver les valeurs de RDD.

Pour la phase de test, le nombre de parcelles de référence ne sera pas suffisant par typologie. L'estimation intégrera donc les RDD des parcelles lambda. A l'expérience, on peut estimer qu'environ les $\frac{3}{4}$ des parcelles Lambda pourraient constituer une population homogène avec les parcelles de référence. Les RDD « attendus » étant construits sur la base d'une estimation de la médiane (exponentielle de la moyenne des log), ce compromis est raisonnable.

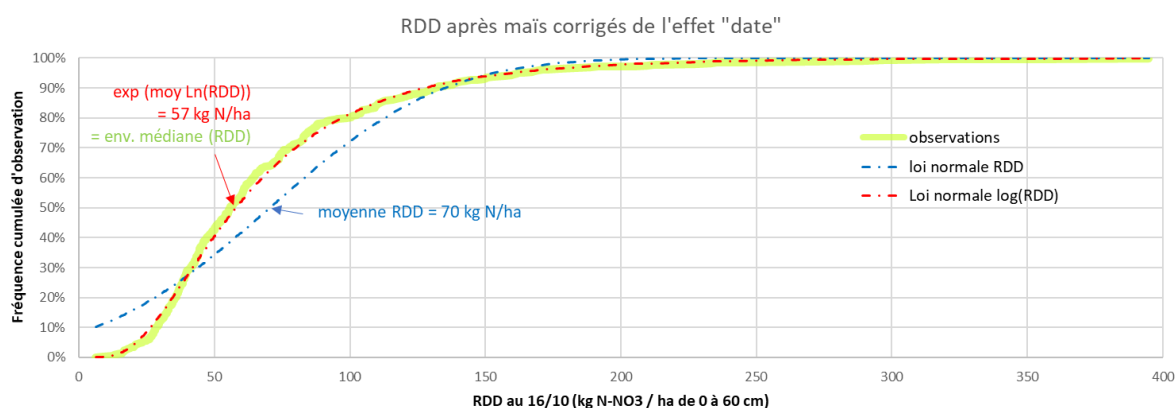


Figure 26: Fréquence cumulée des RDD observés en comparaison avec la loi normale des RDD et de la loi normale des logs des RDD.

Etapes de travail :

Les facteurs pris en compte pour déterminer les RDD attendus ne sont en aucun cas liés aux pratiques de gestion de l'azote qui sont précisément celles que le RDD cherche à diagnostiquer.

On prend en compte les facteurs qui jouent sur le reliquat de manière itérative.

1. Culture diagnostiquée. Le reliquat attendu est différent après une culture de maïs ou de blé par exemple
2. Typologie culture précédente. S'il y a eu un retournement de prairie avant le maïs par exemple, le reliquat attendu sera plus élevé que si le maïs est après blé
3. Typologie culture suivante. Cela permet d'être plus discriminant sur les pratiques de gestion de l'azote Par exemple :
 - a. Si on a une 2^{ème} paille après un blé, il n'y a pas de couvert ou il sera peu développé car il s'agit d'un couvert court.
 - b. Si la culture suivante est un colza, il sera fertilisé, donc le RDD peut être plus élevé.
4. Si la culture suivante est une culture de printemps, le couvert sera non fertilisé donc le RDD attendu sera plus faible.

5. Effet géographique qui peut être lié à la météo et/ou aux dynamiques de mise en place des couverts. Le zonage se fera à posteriori à partir de la météo de l'année, des bilans hydriques et des mesures de reliquats. Les effets zones géographiques peuvent être notables entre 2 zones éloignées mais seront faibles pour des zones voisines, ce qui limitera les « effets de bord ».

Le Tableau 3 et le Tableau 4 présentent un exemple de calcul du RDD attendu en 2023 pour le maïs et 2024 pour les céréales.

Tableau 3: Calcul du RDD attendu en maïs pour les données PLAV du 29 en 2023

base	Précédents		Antéprécédents		Géographie - climat	
52	Prairie	35	Prairie- pâturée	20	DOU - HOR	2.3
	Céréales / colza	3.5			BLF	0
	Autres précédents	0	Autre	0	QUI	-4.7

Exemple : 2ème maïs après prairie pâturée sur la baie de Douarnenez

$$52 + 0 + 20 + 2.3 = 74.3$$

Tableau 4: Calcul du RDD attendu en céréales pour les données PLAV du 29 en 2024.

base	Culture		Précédent		Antéprécédent		Culture suivante	
43	colza	0	colza	-4	maïs gr	-5	Autres	0
			maïs gr	-3.5	céréale	-0.5		
			autre	0	maïs ens	0	Céréales graines	11
	céréale	4	maïs ens	1.5	autre	2	Colza graine	37
			céréale	2.5	prai pât	13		
			prai pât	9				

La médiane du RDD attendu est égale à la médiane des parcelles de référence (pour les typologies définies ci-dessus). → Nouvel intérêt du réseau de référence

⇒ On a maintenant pour chaque situation un reliquat attendu.

3.4 Définition du seuil de tolérance par rapport au RDD attendu

Les mesures de reliquats sont comparées aux RDD attendus par typologie et après correction de la date. **L'analyse se fait sur l'écart au reliquat attendu.**

Pour qualifier les parcelles, **3 notes sont définies**. Elles peuvent être numériques (0, 1 ou 3) ou alphabétiques (A/B, C ou D) avec la même interprétation :

- A/B ou note 0 : la parcelle a un reliquat proche du reliquat attendu
- C ou 1 : la parcelle a un reliquat plus élevés que le reliquat attendu
- D ou 3 : le reliquat de la parcelle est bien supérieur au reliquat attendu, le reliquat est considéré comme excessif.

Pour définir les **seuils des notes** :

C'est en particulier pour la définition de ces seuils que les parcelles de référence sont indispensables car contrairement à l'estimation des RDD attendus, on travaille ici sur les quantiles élevés des populations et c'est sur ceux-ci qu'elles se distinguent. En outre, on a bien vu plus haut que si le niveau de RDD dépend fortement de l'année, c'est aussi complètement le cas de leur variabilité, notamment dans les valeurs élevées. Les seuils ne peuvent donc pas être fixés à priori de manière pertinente.

1. On regarde la distribution des écarts pour prendre en compte la variabilité des reliquats
2. La définition des seuils se fait chaque année sur la **distribution des écarts au reliquat attendu pour les parcelles de référence (Figure 27)**.
 - Le seuil supérieur est fixé à la valeur du centile 90 de la distribution des parcelles de références
 - Le seuil C est fixé à la valeur du centile 80 des parcelles de référence
 - Les autres parcelles ont une note A/B

Les notes sont ensuite attribuées par parcelle par rapport à leur typologie de système de culture.

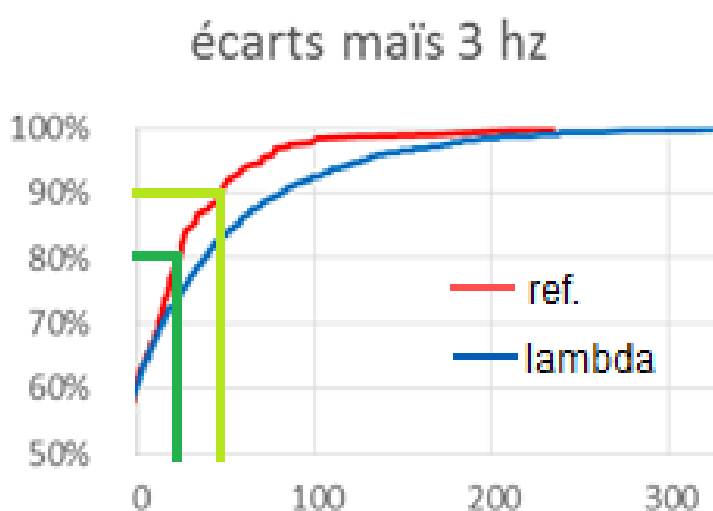


Figure 27: Distribution des écarts des reliquats mesurés par rapport aux reliquats attendus pour une culture de maïs pour les données du PLAV de 2015. La courbe rouge est pour les parcelles de référence et la courbe bleue pour les autres parcelles (lambda). Les lignes vertes définissent les seuils pour les notes C et D.

4 Conclusion

Le reliquat début drainage dépend de nombreux facteurs. Pour pouvoir interpréter cet indicateur, il est nécessaire d'avoir des informations sur la culture en place, les pratiques culturales, le développement du couvert, la position de la parcelle et la météo de l'année. L'analyse proposée dans ce document permet de :

- définir la date du début drainage,
- définir, par typologie de parcelle et par secteur, un reliquat attendu
- ramener le reliquat à une date donnée afin de pouvoir le comparer à un reliquat attendu et estimer le niveau du reliquat,
- attribuer une note au reliquat de chaque parcelle

Cette méthodologie sera utilisée lors de l'expérimentation réalisée sur 2 territoires à l'automne 2025. Elle sera ensuite évaluée et éventuellement ajustée pour un déploiement à l'étude des reliquats début drainage à l'échelle de la région Bretagne.