

Annexes

Table des annexes

Annexe 1 : Calcul des indicateurs de décomposition de la MO par les microorganismes.....	2
Annexe 2 : Exemple de ligne du temps des pratiques culturales pour un champ (2010).....	4
Annexe 3 : Ensemble des indicateurs de pratiques culturales calculés, leur abréviation et leur méthode de calcul (L.Levéau)	5
Annexe 4 : Histogrammes de répartition des indicateurs de SE	12
Annexe 5 : Répartition des mesures de masses initiales des sachets de thé.....	14
Annexe 6 : Présentation des tests sur les données en vue d'une ANOVA	15
Annexe 7 : Méthode de calcul du nombre optimal de cluster des HCPC	18

Annexe 1 : Calcul des indicateurs de décomposition de la MO par les microorganismes.

Cette annexe présente de façon détaillée les calculs des indicateurs de décomposition de la MO par les microorganismes (D_S et D_k). Ces calculs sont issus du protocole original (Keuskamp et al., 2013). Une feuille de calcul Excel permettant de calculer ces indicateurs est disponible sur le site « teatime4science.org ».

L'expérience décrite au point 2.3.2 a permis de calculer pour chaque sachet de thé sa masse initiale sèche (MIS_{vert} et MIS_{rouge}) au départ d'un taux d'humidité moyen calculé ainsi que sa masse finale sèche (MFS_{vert} et MFS_{rouge}).

Au départ de cela, la fraction décomposée du thé vert (ag) est calculée :

$$ag = 1 - \frac{MFS_{vert}}{MIS_{vert}}$$

Ainsi, pour chaque sachet de thé vert récupéré une valeur ag est calculée. La moyenne d' ag par placette (ag_{mean}) est ensuite réalisée afin de calculer l'indicateur D_S comme :

$$D_S = \frac{ag_{mean}}{Hg}$$

L'indicateur D_S correspond au taux de stabilisation de la fraction labile de la MOS (présenté dans la section 1.3.1.1). Hg correspond à la fraction hydrolysable du thé vert calculé en laboratoire et vaut 0,842 (Keuskamp et al., 2013).

La partie labile du thé rouge (ar) correspond à :

$$ar = Hr * (1 - D_S)$$

avec Hr la fraction hydrolysable du thé rouge qui vaut 0,552 (Keuskamp et al., 2013). A chaque placette correspond une valeur de ar .

Ensuite, la portion subsistante de la masse initiale de chaque sachet de thé rouge récupéré est calculée :

$$PS_{rouge} = \frac{MFS_{rouge}}{MIS_{rouge}}$$

Cette valeur est ensuite moyennée par placette, donnant $PS_{rouge_{mean}}$ (chaque parcelle obtient donc trois valeurs de PS_{rouge}).

Enfin, l'indicateur D_k par placette est calculé comme suit :

$$D_k = \frac{\ln\left(\frac{ar}{PS_{rouge_{mean}} - (1 - ar)}\right)}{t}$$

Avec t le temps que les sachets ont passé dans la terre.

Il est utile de souligner que, dans le cadre de ce travail et de la thèse de L. Leveau, une moyenne par placette est calculée dès le calcul de D_S (calculé grâce à ag_mean). En effet, dans le protocole original, il n'y a pas de calcul de moyenne et les indicateurs D_S et D_k sont calculés par couple de sachets (un vert et un rouge). Ceci peut entraîner la perte de données : lorsqu'un sachet vert n'est pas récupérable (troué ou perdu), les indicateurs D_S et D_k du couple ne sont pas calculables. Cependant, en calculant les moyennes de D_S par placette, ce problème est évité car, pour chaque sachet de thé rouge correspond une valeur moyenne de D_S .

Annexe 2 : Exemple de ligne du temps des pratiques culturales pour un champ (2010)

2010												
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Cultures												
Couverts												
Travail mécanique et manuel												
Fertilisation												
Amendement												
Phytoprotecteurs, lutte biologique												
Irrigation												

Annexe 3 : Ensemble des indicateurs de pratiques culturelles calculés, leur abréviation et leur méthode de calcul (L.Leveau)

Indicateur	Nom court	Type	Unité	Méthode de calcul
Pratiques générales				
Label biologique	AB	Booléen	_	1 si agriculture biologique (conversion ou validé), 0 si non
Années depuis la conversion à l'agriculture biologique	Date AB	Integer	ans	Nombre d'années depuis la conversion à l'agriculture biologique.
Emploi du terme TCS	TCS	Booléen	_	1 si le terme est employé par l'agriculteur pour décrire son système, 0 si non
du terme Agriculture de tion	AC	Booléen	_	1 si le terme est employé par l'agriculteur pour décrire son système, 0 si non
Emploi du terme Agroécologie	AE	Booléen	_	1 si le terme est employé par l'agriculteur pour décrire son système, 0 si non
Emploi du terme Protection intégrée des cultures	PIC	Booléen	_	1 si le terme est employé par l'agriculteur pour décrire son système, 0 si non
Emploi du terme Agriculture raisonnée	AR	Booléen	_	1 si le terme est employé par l'agriculteur pour décrire son système, 0 si non
Emploi du terme Agriculture conventionnelle	Aconv	Booléen	_	1 si le terme est employé par l'agriculteur pour décrire son système, 0 si non
Emploi du terme Agriculture de précision	AP	Booléen	_	1 si le terme est employé par l'agriculteur pour décrire son système, 0 si non
Système d'irrigation	Irrigation	Booléen	_	1 si la parcelle est parfois irriguée, 0 si non
Cultures récoltées				
Précédent du froment	Precedent	String	_	Culture récoltée qui a précédé le froment dans lequel les mesures de services écosystémiques ont été prises

Précédent du froment simplifié	PrecedentSimple	String	-	Culture récoltée qui a précédé le froment dans lequel les mesures de services écosystémiques ont été prises, en catégories simplifiées
Diversité des familles récoltées	DivFamRec	Nombre	Familles/10 ans	(Nombre de familles végétales différentes récoltées / DC)*10
Diversité des espèces récoltées	DivEspRec	Nombre	Espèces/10 ans	(Nombre d'espèces végétales différentes récoltées / DC)*10
Fréquence des récoltes de plusieurs espèces simultanément	EspRecAsso	Nombre	Récoltes/ 10 ans	(Nombre de cultures où plusieurs espèces sont récoltées simultanément/ DC)*10
Fréquence des récoltes de variétés associées	VarRecAsso	Nombre	Récoltes/ 10 ans	(Nombre de cultures récoltées avec des variétés d'une même espèce associées (uniquement associées, pas par morceaux) / DC)*10
Fréquence des récoltes de variétés réparties par morceau de parcelle	VarRecMorceaux	Nombre	Récoltes/ 10 ans	(Nombre d'espèces récoltées comprenant plus d'une variété, mais dont les variétés sont chacune sur un morceau de champ différent / DC)*10
Nombre moyen de variétés récoltées présentes par saison culturale	VarRecTotal	Nombre	Variétés	Moyenne du nombre de variétés végétales récoltées par espèce sur toutes les saisons culturales (seules, associées et par morceaux)
Nombre de variétés récoltées présentes par saison culturale et par surface cultivée	VarRecTotal ParSurf	Nombre	Variétés/ha	Moyenne du nombre de variétés végétales récoltées sur toutes les saisons culturales (seules, associées et par morceaux) / surface de la parcelle
Fréquence de culture des céréales	FreqPoaceae	Nombre	Cultures/ 10 ans	(Nombre de cultures de poacées/DC)*10
Fréquence de cultures récoltées sous le sol	FreqRecolteSol	Nombre	Cultures/ 10 ans	(Nombre de cultures récoltées sous le sol/DC)*10
Fréquence de cultures récoltées en automne	FreqRecolteAutomne	Nombre	Cultures/ 10 ans	(Nombre de cultures récoltées en automne/DC)*10
Fréquence des cultures sarclées	FreqSarclée	Nombre	Cultures/ 10 ans	(Nombre de cultures sarclées /DC)*10

Couverture du sol				
Temps de cultures récoltées	Tps_CultureRecoltee	Nombre	Jours/ 10 ans	(Somme des durées de cultures récoltées (= date de récolte - date de semis) /DC)*10
Temps de couvert vivant	Tps_Couvert	Nombre	Jours/ 10 ans	(Somme des durées de couverts présents seuls (= date de première destruction - date de semis)/DC)*10
Temps de cultures total	Tps_CulturesTout	Nombre	Jours/ 10 ans	Nombre de jours avec une culture vivante (récoltée ou couvert) sur dix ans = TpsCultureRecoltee + TpsCouvert
Temps de mulch mort	Tps_Mulch	Nombre	Jours/ 10 ans	(Somme des durées de mulch mort suivant une culture principale ou un couvert (= date de récolte ou de première destruction - date de premier travail du sol)/DC)*10
Temps de sol travaillé non semé	Tps_SolTravaille	Nombre	Jours/ 10 ans	3652 - (Tps_CultureTout + TpsMulch)
Nombre de cultures avec plantes compagnes ou semi-permanentes	NbCulturesAvecCV	Nombre	Cultures/ 10 ans	(Nombre de dates différentes de semis de plantes compagnes et de couverts semi-permanents/DC)*10
Diversité des familles en couverture végétale	DivFamCV	Nombre	Familles/10 ans	(Nombre de familles végétales de couvert différentes/ DC)*10
Diversité des espèces en couverture végétale	DivEspCV	Nombre	Espèces/10 ans	(Nombre d'espèces végétales de couverture différentes / DC)*10
Nombre moyen de familles associées en interculture	FamParCV	Nombre	Familles/couvert	(Somme du nombre de familles végétales de chaque couverture / Nombre de couvertures végétales)
Nombre moyen d'espèces associées en interculture	EspParCV	Nombre	Espèces/couvert	(Nombre total d'espèces végétales de couverture semées / Nombre de couvertures végétales)
Toutes les plantes cultivées				
Diversité des familles totale	DivFamTot	Nombre	Familles/10 ans	(Nombre de familles végétales cultivées différentes / DC)*10

Diversité des espèces totale	DivEspTot	Nombre	Espèces/10 ans	(Nombre d'espèces végétales cultivées différentes / DC)*10
Fertilisants et amendement				
Azote minéral total apporté	NminTot	Nombre	UN/10 ans	(Somme des apports d'azote minéral / DC)*10
Azote organique total apporté	NorgTot	Nombre	UN/10 ans	(Somme des apports d'azote minéral / DC)*10
Azote total apporté	Ntot	Nombre	UN/10 ans	(Somme des apports d'azote / DC)*10
Fréquence des fertilisations organiques	FreqOrga	Nombre	Fertilisations/10 ans	(Nombre d'applications d'engrais organique / DC)*10
Potassium total apporté	Ktot	Nombre	UK/10 ans	(Somme des apports de potassium / DC)*10
Phosphore total apporté	Ptot	Nombre	UP/10 ans	(Somme des apports de phosphore / DC)*10
Travail mécanique				
Années depuis le dernier retournement	Temps_DernierLabour	Nombre	ans	2021 - année durant laquelle la parcelle a été retournée pour la dernière fois.
Fréquence des retournements	Freq_Labour	Nombre	Opérations /10 ans	Somme des usages d'outils retournant le sol / DC*10
Fréquence des retournements superficiels	Freq_LabourSup	Nombre	Opérations /10 ans	(Somme des usages d'outils retournant le sol <16 cm / DC)*10
Fréquence des retournements profonds	Freq_LabourProf	Nombre	Opérations /10 ans	(Somme des usages d'outils retournant le sol >15 cm / DC)*10
Profondeur maximale de retournement	Prof_Max_Labour	Nombre	cm	Profondeur maximale d'une opération de retournement du sol sur tout l'historique
Années depuis le dernier usage d'outil animé	Temps_DernierAnime	Nombre	ans	2021 - année durant laquelle un outil animé a été employé pour la dernière fois.

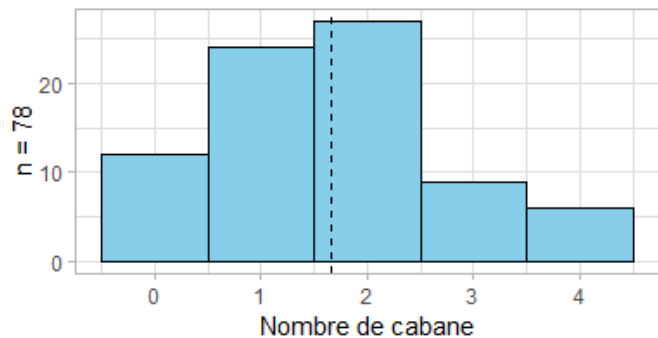
Fréquence des travaux avec outils animés	Freq_OutilAnime	Nombre	Opérations /10 ans	Somme des usages d'outils animés/ DC*10
Fréquence des travaux de fragmentation	Freq_Fragmentation	Nombre	Opérations /10 ans	Somme des usages d'outils fragmentant le sol sans le retourner ni le mélanger/ DC*10
Profondeur moyenne des travaux de fragmentation	Prof_Moy_Fragmentation	Nombre	cm	Profondeur moyenne de travail des outils fragmentant le sol sans le retourner ni le mélanger
Fréquence des travaux de mélange	Freq_Melange	Nombre	Opérations /10 ans	Somme des usages d'outils mélangeant le sol sans le retourner/ DC*10
Profondeur moyenne des travaux de mélange	Prof_Moy_Melange	Nombre	cm	Profondeur moyenne de travail des outils mélangeant le sol sans le retourner
Fréquence des travaux de mélange très superficiels	Freq_MelTresSup	Nombre	Opérations /10 ans	(Somme des usages d'outils mélangeant le sol sans le retourner < 4 cm, hors éléments semeurs/ DC)*10
Fréquence des travaux de mélange superficiels	Freq_MelSup	Nombre	Opérations /10 ans	(Somme des usages d'outils mélangeant le sol sans le retourner > 3 et < 16 cm/ DC)*10
Fréquence des travaux de mélange profonds	Freq_MelProf	Nombre	Opérations /10 ans	(Somme des usages d'outils mélangeant le sol sans le retourner > 15 cm/ DC)*10
Fréquence des travaux de fragmentation très superficiels	Freq_FragTresSup	Nombre	Opérations /10 ans	(Somme des usages d'outils fragmentant le sol sans le retourner ni le mélanger < 4 cm/ DC)*10
Fréquence des travaux de fragmentation superficiels	Freq_FragSup	Nombre	Opérations /10 ans	(Somme des usages d'outils fragmentant le sol sans le retourner ni le mélanger > 3 et < 16 cm/ DC)*10
Fréquence des travaux de fragmentation profonds	Freq_FragProf	Nombre	Opérations /10 ans	(Somme des usages d'outils fragmentant le sol sans le retourner ni le mélanger > 15 cm/ DC)*10
Profondeur cumulée de tous les types de travaux	ProfCum_Tout	Nombre	cm/10 ans	(Profondeur cumulée de tous les travaux du sol sauf les éléments semeurs/ DC)*10

Produits phytosanitaires				
Indice de fréquence de traitement (principe général)	IFT	Nombre	–	L'IFT correspond au nombre de doses de référence par hectare appliquées sur une unité spatiale (ici, la parcelle) pendant une période donnée. Il se calcule en sommant, pour chaque produit phyto appliqué sur la parcelle (càd pour chaque traitement), le ratio entre la dose de produit appliquée par hectare et la dose maximale par hectare homologuée pour le produit en question sur la culture présente.
				Dans notre cas, seuls les produits phyto appliqués en champ sont considérés : les traitements des semences et plantules ne sont pas pris en compte dans le calcul.
IFT sur 10 ans	IFT_10	Nombre	–	(Somme des IFT de chaque culture de la rotation/ DC)*10
IFT herbicide sur 10 ans	IFT_10_herb	Nombre	–	(Somme des IFT des herbicides de chaque culture de la rotation/ DC)*10
IFT fongicide sur 10 ans	IFT_10_fong	Nombre	–	(Somme des IFT des fongicides de chaque culture de la rotation/ DC)*10
IFT insecticide sur 10 ans	IFT_10_insect	Nombre	–	(Somme des IFT des insecticides de chaque culture de la rotation/ DC)*10
IFT régulateur sur 10 ans	IFT_10_reg	Nombre	–	(Somme des IFT des régulateurs de chaque culture de la rotation/ DC)*10
IFT molluscicide sur 10 ans	IFT_10_moll	Nombre	–	(Somme des IFT des molluscicides de chaque culture de la rotation/ DC)*10
IFT moyen du Triticum aestivum	IFT_Triticum_aestivum	Nombre	–	(Somme des IFT de chaque culture de froment et d'épeautre de la rotation / Nombre de cultures de froment et d'épeautre de la rotation)

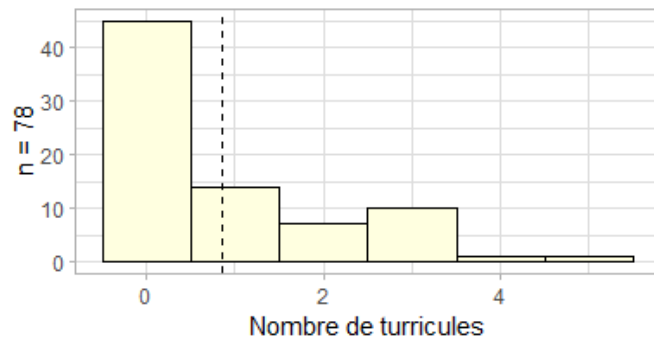
IFT herbicide moyen du Triticum aestivum	IFT_Triticum_aestivum_herb	Nombre	–	(Somme des IFT herbicides de chaque culture de froment et d'épeautre de la rotation / Nombre de cultures de froment et d'épeautre de la rotation)
IFT fongicide moyen du Triticum aestivum	IFT_Triticum_aestivum_fong	Nombre	–	(Somme des IFT fongicides de chaque culture de froment et d'épeautre de la rotation / Nombre de cultures de froment et d'épeautre de la rotation)
IFT insecticide moyen du Triticum aestivum	IFT_Triticum_aestivum_insect	Nombre	–	(Somme des IFT insecticides de chaque culture de froment et d'épeautre de la rotation / Nombre de cultures de froment et d'épeautre de la rotation)
IFT régulateur moyen du Triticum aestivum	IFT_Triticum_aestivum_reg	Nombre	–	(Somme des IFT régulateurs de chaque culture de froment et d'épeautre de la rotation / Nombre de cultures de froment et d'épeautre de la rotation)
Covariables				
Date de semis du Triticum aestivum avant les mesures de SE	Date_Semis_Triticum	Nombre	jours	Nombre de jours entre le 1er octobre de la même année et la date de semis de la céréale semée l'année où les mesures de SE ont été prises dans le champ. Cette formule a été choisie plutôt qu'une simple date car elle permet de comparer l'impact de la date de semis en combinant plusieurs années de données.
Date d'installation des paniers à vers de terre	Date_Panier_VDT	Nombre	jours	Nombre de jours entre le 1er octobre de la même année et la date d'installation des paniers à vers de terre. Cette formule a été choisie plutôt qu'une simple date car elle permet de comparer l'impact de la date de semis en combinant plusieurs années de données.
Année des mesures de SE	Annee_Mesures_SE	aaaa	année	Année durant laquelle les mesures de SE ont été prises dans le champ (année de récolte du froment présent sur le champ)

Annexe 4 : Histogrammes de répartition des indicateurs de SE

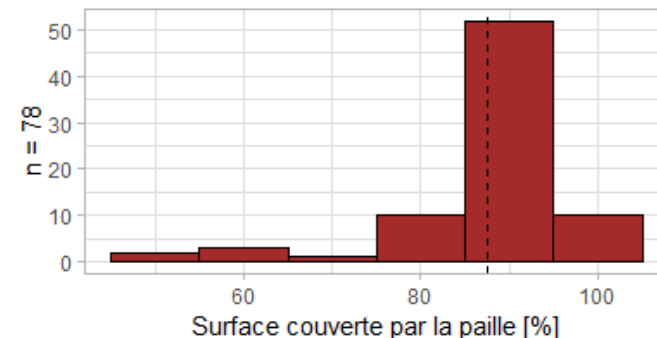
Nombre de cabanes apparues après 1 mois



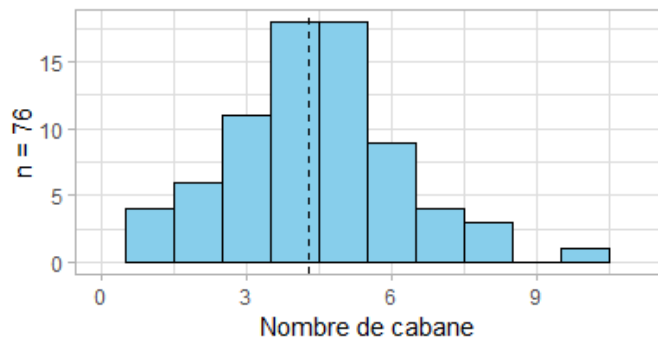
Nombre de turricules apparus après 1 mois



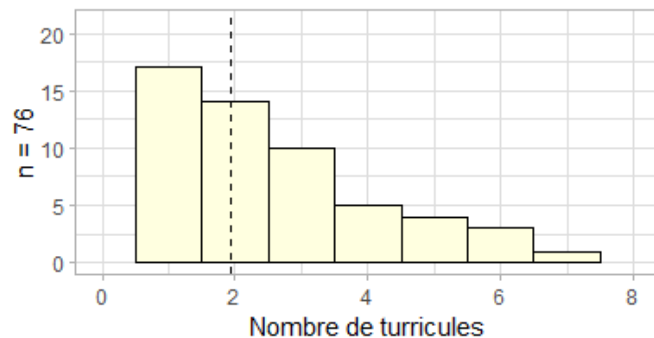
Surface de paille restant après 1 mois



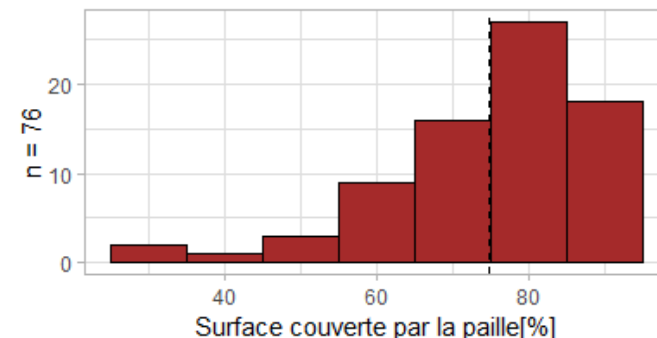
Nombre de cabanes apparues après 2 mois



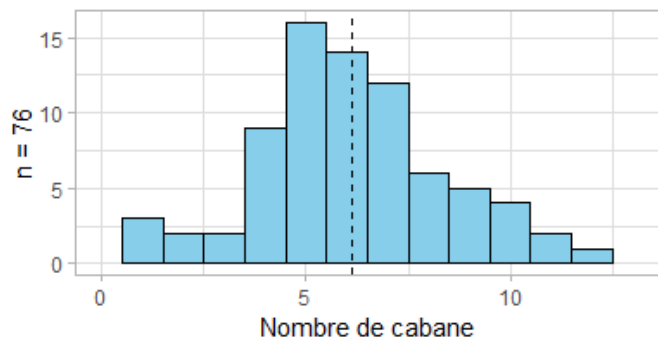
Nombre de turricules apparus après 2 mois



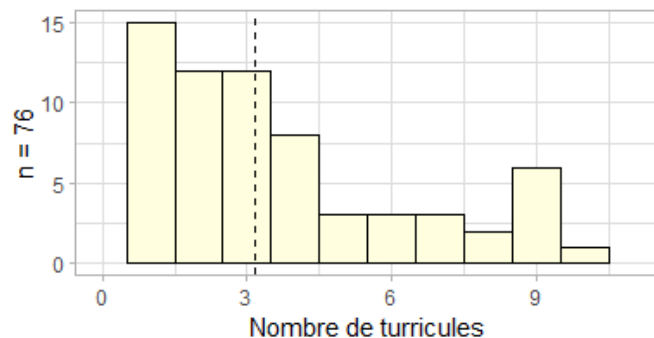
Surface de paille restant après 2 mois



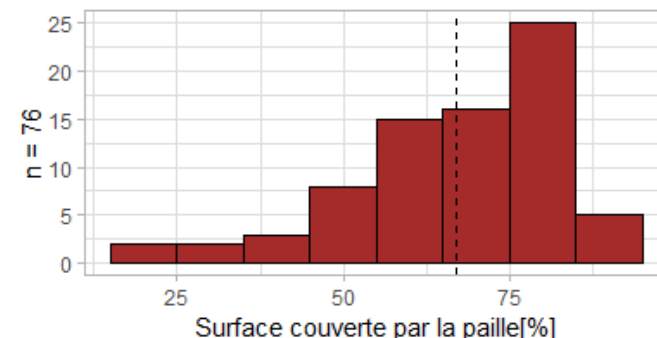
Nombre de cabanes apparues après 3 mois

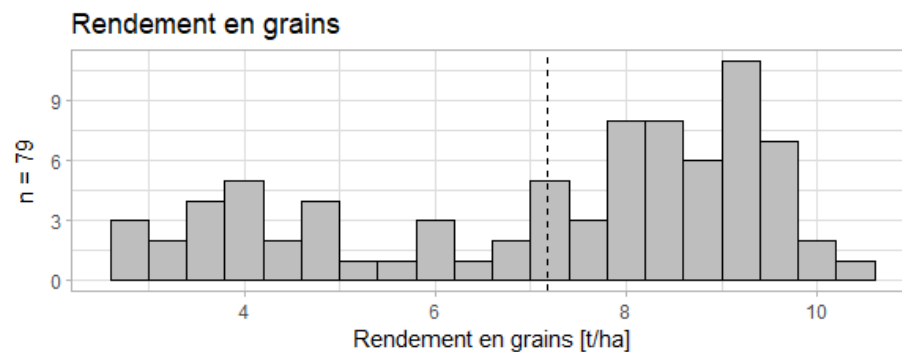
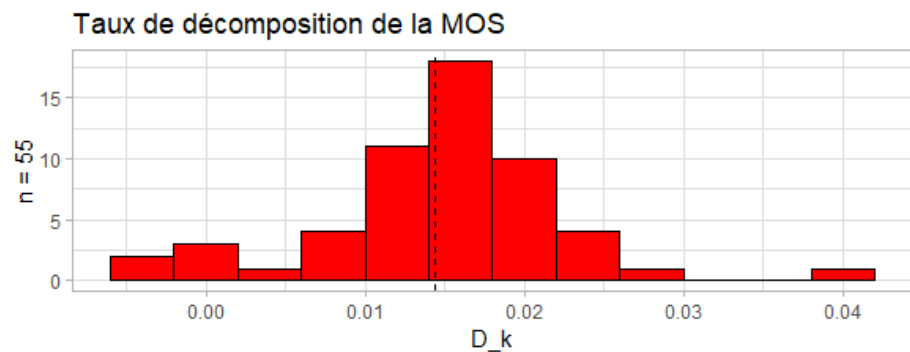
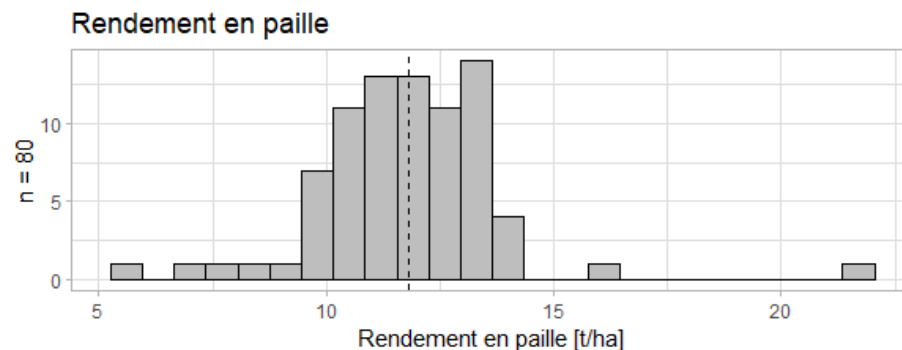
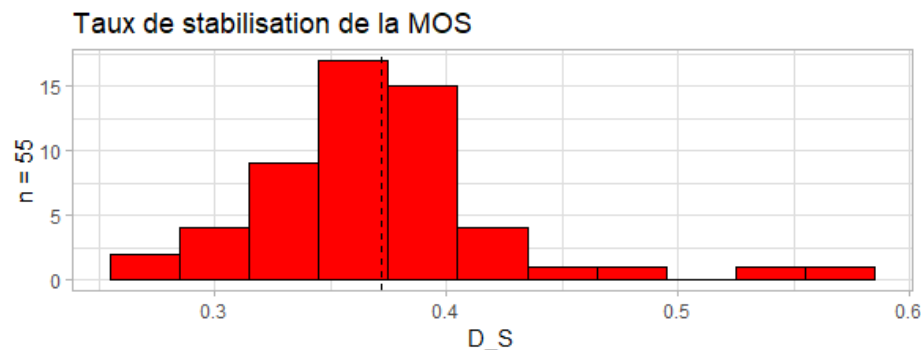
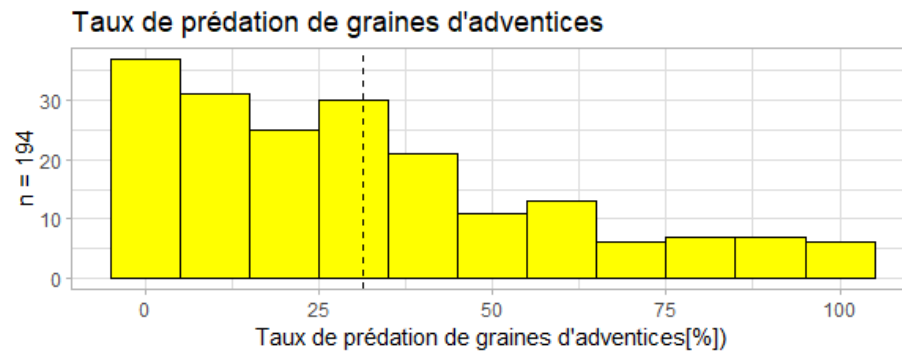
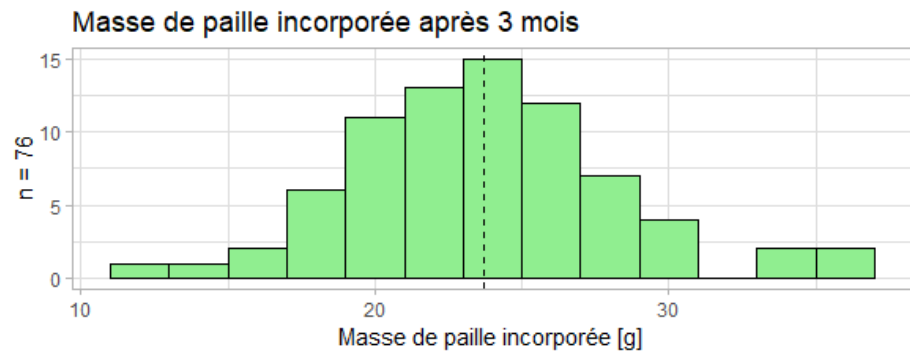


Nombre de turricules apparus après 3 mois



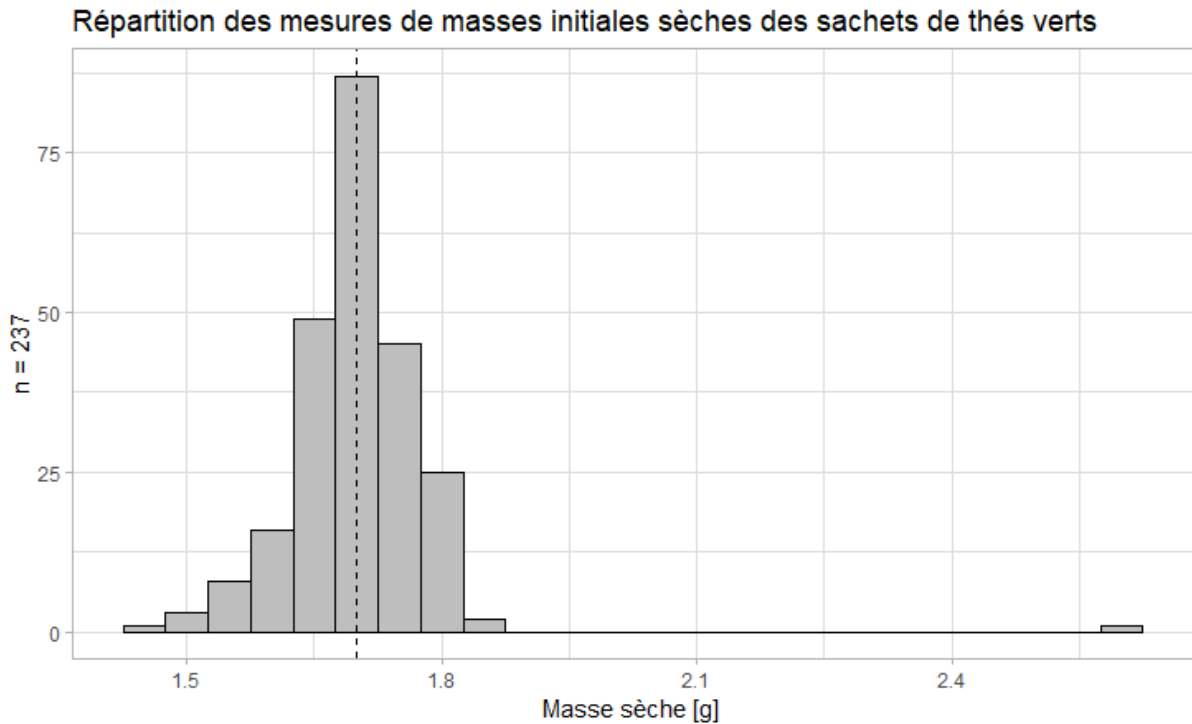
Surface de paille restant après 3 mois





Histogrammes de répartition des indicateurs de SE, Ce graphique donne, pour un intervalle de valeurs d'indicateurs (exprimé sur l'axe des x), le nombre de fois qu'un indicateur compris dans cet intervalle apparait dans le jeu de données total ; autrement dit le nombre de fois qu'une expérience a eu un résultat compris dans l'intervalle.

Annexe 5 : Répartition des mesures de masses initiales des sachets de thé.



Histogramme de répartition des masses initiales sèches des sachets de thé verts, Ce graphique donne, pour un intervalle de valeurs de masse de thé sec (exprimé sur l'axe des x), le nombre de fois qu'un sachet de thé vert compris dans cet intervalle apparaît dans le jeu de données total.

Annexe 6 : Présentation des tests sur les données en vue d'une ANOVA

L'ANOVA est une méthode statistique répandue qui se base sur un rapport de variance (et donc sur l'écart des points à la moyenne) pour établir la significativité : le rapport de la variance inter-parcelle et de la variance intra-parcelle. Plus le rapport entre ces deux variances est élevé plus la probabilité qu'au moins une parcelle soit différente des autres est grande. Ce test est paramétrique et nécessite une distribution normale des variables (donc des indicateurs de SE) ainsi qu'une homogénéité dans la distribution de la variance.

Test de la normalité des données :

Pour tester cette caractéristique des données indispensables à l'ANOVA, plusieurs façons sont possibles : par l'interprétation d'une représentation en QQ plot ou par différents tests statistiques sur les données. Dans son étude de comparaison des tests statistiques pour la normalité, Khatun (2021) conclut que les tests statistiques les plus puissants sont les tests de Shapiro Wilk, Shapiro Francia et Anderson Darling. Les travaux précédents de ce mémoire ont utilisé le test de Shapiro Wilk. Khatun (2021) souligne aussi que la caractérisation de la normalité est sensible à la taille des échantillons et que, dans le cas de petits échantillons, il est nécessaire d'attribuer la normalité à un jeu de données en combinant la méthode graphique à un test statistique.

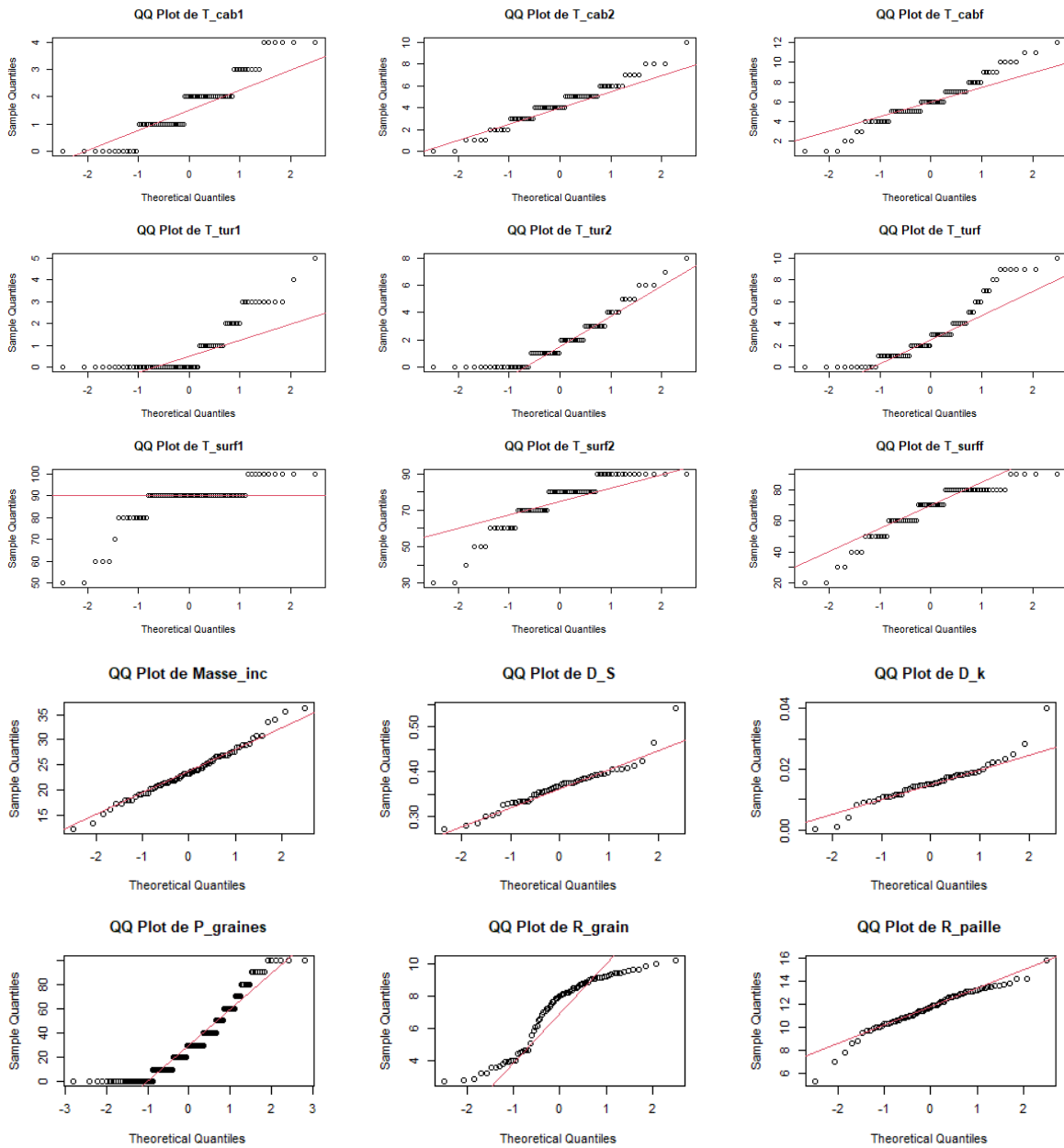
Ainsi, sur base des QQ plot des indicateurs de services écosystémiques et des résultats du test de Shapiro Wilk présentés à la fin de cette annexe, les indicateurs suivants sont retenus comme normaux : la masse de paille incorporée par les VDT après trois mois (Masse_inc), le nombre de cabanes apparus après deux (T_cab2) et trois mois (T_cabf).

Test de l'homogénéité de la variance

L'homogénéité de la variance est une condition pour établir une ANOVA sur un jeu de données. Elle peut être calculée sur base d'un test de Levene. Ce test appliqué aux valeurs normales montre qu'aucune variable présente avec certitude une homogénéité de sa variance, ce qui empêche la réalisation d'ANOVA.

Tableau des résultats du test de Levene

Abréviation	Valeur F	P-valeur
T_cab2	1,1585	3,24E-01
T_cabf	1,1598	3,23E-01
Masse_inc	1,6443	7,69E-02



Représentation en QQ plot des indicateurs de services écosystémiques

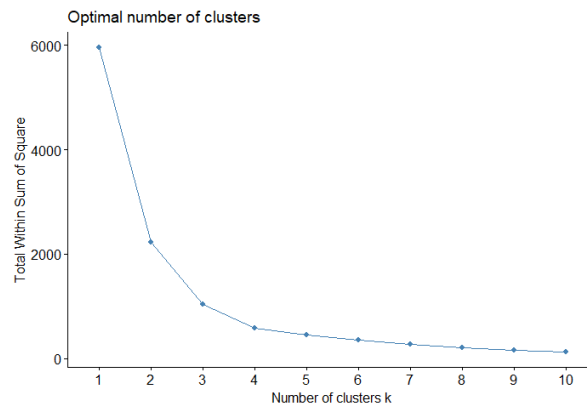
Tableau des résultats du test de Shapiro Wilk

Nom	Res	pvalue
Masse_inc	0,988	6,95E-01
T_cab1	0,903	1,96E-01
T_cab2	0,968	5,24E-02
T_cabf	0,97	6,91E-02
T_tur1	0,725	8,92E-11
T_tur2	0,871	1,51E-06
T_turf	0,879	2,83E-06
T_surf1	0,677	8,05E-12
T_surf2	0,857	4,70E-07
T_surff	0,894	1,10E-05
P_graines	0,898	3,15E-10
R_grain	0,888	4,32E-06
R_paille	0,955	7,01E-03
D_S	0,929	4,73E-03
D_k	0,927	3,85E-03

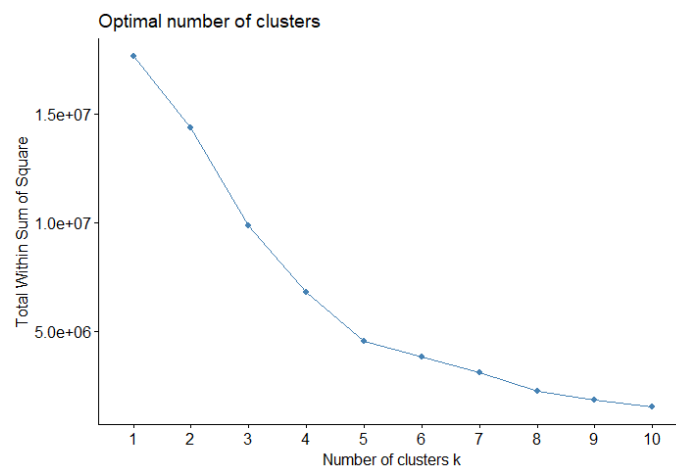
Annexe 7 : Méthode de calcul du nombre optimal de cluster des HCPC

Le nombre de cluster optimal est identifiable en observant les graphiques issus de la fonction `fviz_nbclust()` du package `FactoMineR` du logiciel R. La méthode choisie dans le cadre de ce travail est la méthode WSS (somme des carrés intra-clusters). Le nombre optimal de cluster se trouve à l'endroit où la courbe change significativement de pente.

ACP_SE2



ACP_SE/PC



ACP des pratiques culturelles seules

