

Guide technique

Tome 1

VALORISATION AGRICOLE DES MATIÈRES FERTILISANTES D'ORIGINE RÉSIDUAIRE EN OCCITANIE



JANVIER 2021



ÉDITORIAL



Les MATières Fertilisantes d'Origine Résiduaire (MAFOR) regroupent toutes les matières d'origine résiduaire diverses. Riches en **éléments NPK**, elles peuvent être utilisées pour **fertiliser ou amender les sols** agricoles. L'utilisation de ces matières en agriculture doit cependant être encadrée et je suis particulièrement vigilant vis-à-vis de **leur innocuité pour nos sols** afin de préserver ce **précieux capital**.

La réutilisation de ces matières s'inscrit dans une logique d'**économie circulaire** et la feuille de route de l'Economie Circulaire de février 2019 précise le rôle incontournable du secteur agricole dans la valorisation des biodéchets. **Ce service rendu par les agriculteurs** à la société en faisant de nos déchets des matières réutilisables dans le cadre d'un nouveau cycle de production et de valorisation se doit d'être **reconnu et valorisé**. Ces pratiques ne pourront être encouragées que dans le **respect des intérêts des agriculteurs**, de **l'amélioration de la fertilité** des sols et de la nécessaire **préservation de l'environnement**.

Ce guide, réalisé par le réseau des Chambres d'agriculture d'Occitanie grâce au concours financier de l'ADEME et du Conseil Régional, a pour objectif d'**accompagner les producteurs, les conseillers et techniciens** dans la valorisation des MAFOR sur les exploitations agricoles. Il sert d'outil d'**aide à la décision** pour les agriculteurs et apporte un avis éclairé quant à l'utilisation des matières épandues sur leurs sols. Le premier tome de ce guide amène des éléments de **connaissances théoriques et contextuels** nécessaires pour raisonner l'emploi des MAFOR. Un second tome vient compléter le premier en détaillant par fiche-type les caractéristiques agronomiques et les critères d'innocuité des principales MAFOR disponibles en Occitanie.

Ce travail doit permettre un retour au sol des MAFOR de qualité afin de **protéger les sols** qui sont une ressource non renouvelable.

Je vous en souhaite une très bonne lecture.

Denis Carretier,
Président de la Chambre Régionale d'Agriculture Occitanie



COMMENT UTILISER CE GUIDE ?

Ce guide est composé de **deux tomes** complémentaires :

- **Tome I** : abordant de façon technique la valorisation des MATières Fertilisantes d'Origine Résiduaire (MAFOR) en agriculture sur le territoire de l'Occitanie,
- **Tome II** : détaillant les différentes MAFOR qui peuvent revenir au sol en Occitanie et leurs caractéristiques.

Le tome I a pour but de présenter de manière théorique le **fonctionnement du sol** et son **interaction avec la matière organique**. Bien comprendre son support de culture et ses besoins est primordial pour pouvoir **adapter ses pratiques** culturales et **réfléchir aux interventions** nécessaires. L'objectif est d'optimiser les apports de MAFOR pour raisonner au mieux sa production.

Le premier tome va donc permettre de comprendre :

- Le contexte agricole de la région
- Les enjeux de la matière organique
- Le fonctionnement du sol et son état
- Les principales MAFOR du territoire
- Les différents matériels d'épandage
- L'interprétation des analyses
- La réglementation

Le dernier chapitre est un cahier détachable qui reprend les éléments nécessaires pour raisonner l'apport de MAFOR **lors du travail de terrain**.

Pour une meilleure compréhension, un **glossaire des sigles** est disponible en fin du premier tome. Des renvois dans le texte (n°) font référence aux **sources bibliographiques** présentes à la fin de chaque chapitre.

Le second tome vient compléter le premier en détaillant par **fiche type** les principales MAFOR présentes en Occitanie. Chaque fiche type est classée par catégorie selon son origine (élevage, industrielle, urbaine...). Elle détaille les caractéristiques de la MAFOR afin de servir d'**aide à la décision** pour la **valorisation** agricole.



SOMMAIRE

Chapitre 1/ ÉCONOMIE CIRCULAIRE ET RETOUR AU SOL 10

- 1. L'agriculture en Occitanie : la diversité des productions 10**
- 2. L'enjeu des MAFOR dans une logique d'économie circulaire 13**
- 3. Importance de la matière organique du sol 13**
- 4. L'érosion des sols 15**
- 5. Les sols et le changement climatique 16**

Chapitre 2/ LA VIE DES SOLS 18

- 1. Le sol, un milieu complexe et fragile 18**
 - 1.1. Formation des sols 18
 - 1.2. Fonctions du sol 18
 - 1.3. Qualité et santé des sols 20
 - 1.4. Dégradations des sols et problèmes engendrés 20
- 2. Les matières organiques du sol, un pilier du fonctionnement des sols agricoles 22**
 - 2.1. Les matières organiques du sol 22
 - 2.2. Fonctions des MO du sol 24
- 3. Évaluer l'état des sols 25**
 - 3.1. Diagnostic de l'état structural du sol 25
 - 3.2. Observation du contexte parcellaire et de l'état de surface du sol 25
 - 3.3. Diagnostic de l'état biologique des sols 27
- 4. Maintenir ou améliorer l'état biologique des sols 28**
 - 4.1. Diversité des cultures et rotation 29
 - 4.2. Adapter le travail du sol : les effets des différentes techniques de travail du sol 30
 - 4.3. Amendement 31

Chapitre 3/ LES PRINCIPALES MAFOR EN OCCITANIE 34

- 1. Les principales MAFOR d'origine agricole 34**
 - 1.1. Issues de la filière élevage 34
 - 1.2. Issues des IAA (Industries Agro-Alimentaires) 35
 - 1.3. Issues de la filière viti-vinicole 35
 - 1.4. Issues de la filière fruits & légumes 38
- 2. Les matières non agricoles 40**
 - 2.1. Les matières issues d'ordures ménagères 41
 - 2.2. Les déchets verts et leurs composts 42
 - 2.3. Les boues de stations d'épuration urbaines et leurs composts 43

3. Les spécialités de l'agrofourmiture	46
4. Les digestats	46
5. Les cendres	47
6. Les lombricomposts	48
7. Les struvites	48

Chapitre 4/ **LES CRITÈRES ANALYTIQUES DES MAFOR** **52**

1. Analyse des valeurs agronomiques	52
1.1. Matières sèches (MS)	52
1.2. Matière organique (MO)	53
1.3. Carbone organique	54
1.4. L'azote (N)	54
1.5. Le rapport C/N	54
1.6. Les éléments majeurs : P, K (Mg, Ca, Na)	55
1.7. Le potentiel hydrogène (pH)	55
2. Les critères d'innocuité	56
2.1. Les Eléments Traces Métalliques (ETM)	56
2.2. Les Composés Traces Organiques (CTO)	56
2.3. Les micro-organismes d'intérêt sanitaire (les éléments pathogènes)	57
2.4. La détermination des éléments inertes	57
3. Les autres critères	57
3.1. La granulométrie	57
3.2. La masse volumique	57
4. Efficacité agronomique des MAFOR	58
4.1. Cinétique de minéralisation du carbone et de l'azote	58
4.2. L'Indice de Stabilité des Matières Organiques (ISMO)	60
5. L'expression des résultats et unités de mesure	61

Chapitre 5/ **RÉGLEMENTATION SUR LE RETOUR AU SOL DES MAFOR** **64**

1. Principes généraux	64
1.1. Quelques définitions	64
1.2. Modalités de mise sur le marché et utilisation	65
1.3. Sortie du statut de déchet	66
1.4. Notion de responsabilité	68
1.5. Evolutions réglementaires	68
2. Les différentes procédures de retour au sol	69
2.1. Plan d'épandage (PE)	69
2.2. Autorisation de mise sur le marché (AMM)	75
2.3. Normalisation	75
2.4. Conformité à un règlement européen	76
2.5. Conformité à un cahier des charges approuvé	76
2.6. Déchets non conformes à la réglementation	76
2.7. Les autres cadres réglementaires	76
2.8. Les signes de reconnaissance	79

3. Les risques sanitaires et environnementaux liés à l'épandage des MAFOR	80
3.1. La gestion des éléments fertilisants	80
3.2. Les autres risques	81
3.3. Les enjeux environnementaux et sanitaires	81
Chapitre 6/ ÉPANDRE LES MAFOR AVEC LE BON MATÉRIEL	85
<hr/>	
1. À chaque type de matière son matériel d'épandage	85
1.1. Les matières liquides	85
1.2. Les matières pâteuses	86
1.3. Les matières solides	88
2. La certification éco-épandage	92
Chapitre 7/ RAISONNER L'APPORT D'UNE MAFOR	96
<hr/>	
1. Étape 1 : « Mon sol : où en est-il ? »	96
2. Étape 2 : Quels sont mes objectifs et ma stratégie ?	98
3. Étape 3 : Quels paramètres vérifier sur les MAFOR ?	99
4. Étape 4 : Concrètement, comment raisonner un apport ?	105
Annexe A/ PROCÉDURE LEMA	114
<hr/>	
Annexe B/ PROCÉDURE RSD	118
<hr/>	
Annexe C/ PROCÉDURE ICPE	119
<hr/>	
Annexe D/ COEFFICIENTS D'ÉQUIVALENCE ENGRAIS	123
<hr/>	
GLOSSAIRE ET SIGLES	124
<hr/>	
ÉQUIPE DE RÉDACTION ET CRÉDITS	130
<hr/>	



TABLE DES FIGURES

FIGURE 1/ Répartition des surfaces agricoles en Occitanie	10
FIGURE 2/ Densité d'exploitation agricole rapportée à la population en 2010	11
FIGURE 3/ L'économie circulaire	13
FIGURE 4/ Stocks de carbone dans les sols français et zoom sur la région Occitanie	14
FIGURE 5/ Aléa d'érosion des sols français et zoom sur la région Occitanie	18
FIGURE 6/ Étapes de formation d'un sol sur une échelle de temps	15
FIGURE 7/ Schéma des fonctions du sol	19
FIGURE 8/ Les 3 composantes de la fertilité des sols	22
FIGURE 9/ Les sols renferment une vie extrêmement diversifiée	23
FIGURE 10/ Leviers agronomiques pour une gestion durable des sols	29
FIGURE 11/ Schéma d'organisation d'une distillerie	37
FIGURE 12/ Les distilleries régionales en ICPE	38
FIGURE 13/ Processus de production de margines et grignons	39
FIGURE 14/ Répartition du gisement des déchets organiques en Occitanie	40
FIGURE 15/ Processus d'élaboration des différents composts issus des OMA	41
FIGURE 16/ Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées	43
FIGURE 17/ Trois catégories de boues	44
FIGURE 18/ Production et destination de boues de STEU (tonnes)	45
FIGURE 19/ Installations de compostage des déchets organiques en Occitanie en 2017	46
FIGURE 20/ Localisation des unités de méthanisation en Occitanie	47
FIGURE 21/ Localisation des chaufferies bois en Occitanie en 2016	48
FIGURE 22/ Exemple de résultats de cinétiques de minéralisation du carbone	58
FIGURE 23/ Exemple de résultat de minéralisation de l'azote organique	59
FIGURE 24/ Classement des MAFOR en fonction de la valeur de leur ISMO	60
FIGURE 25/ Les zones vulnérables en Occitanie	77
FIGURE 26/ Répartition en M ou en dôme	91
FIGURE 27/ Taux de MO souhaitable en fonction des teneurs en argile et en calcaire	99
FIGURE 28/ Exemple de fiche produit d'un compost de biodéchets	100
FIGURE 29/ Exemple d'une analyse d'effluent d'élevage	102
FIGURE 30/ Rappels des classes de cinétique de minéralisation de l'azote	104
FIGURE 31/ Bilan humique	105
FIGURE 32/ Schéma simplifié du raisonnement d'un apport de MAFOR	111
FIGURE A1/ Règles de distance d'épandage des boues	116



TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1/ Les principales productions du territoire	11
TABLEAU 2/ L'évolution des principales surfaces et productions entre 2001 et 2016	12
TABLEAU 3/ Fonctions du sol	19
TABLEAU 4/ Les rôles multiples de la faune du sol dans le cycle de la matière organique	24
TABLEAU 5/ Techniques de travail du sol / culturales et leurs effets	31
TABLEAU 6/ Analyses à réaliser et méthode des produits normés	53
TABLEAU 7/ Exemple d'ordres de grandeur des rapports C/N de quelques Mafor	55
TABLEAU 8/ Interprétation des résultats d'analyse de minéralisation du carbone d'une MAFOR	58
TABLEAU 9/ Interprétation des résultats d'analyse de minéralisation de l'azote	59
TABLEAU 10/ Correspondance des jours à 28°C et des jours à 15°C	60
TABLEAU 11/ Unités des paramètres des bulletins d'analyses	61
TABLEAU 12/ En pratique, déchet/produit, quelles MAFOR sont concernées ?	67
TABLEAU 13 / Résumé indicatif des dispositions réglementaires prévues pour l'épandage des boues, selon la taille de la station d'épuration urbaines et la quantité maximale de boues épandues dans l'année	71
TABLEAU 14/ Seuils RSD et ICPE en élevage (en nombre d'animaux ou animaux-équivalents)	72
TABLEAU 15/ Rubriques ICPE des principaux établissements produisant des déchets organiques	73
TABLEAU 16/ Trois catégories pour les établissements vinicoles	74
TABLEAU 17/ Tableau synthèse contraintes/procédure « Plan d'épandage »	74
TABLEAU 18/ Principales normes s'appliquant aux MAFOR	75
TABLEAU 19/ Liste de MAFOR autorisées en AB	78
TABLEAU 20/ Principales caractéristiques des tonnes à lisier avec buse palette / rampe à buses	84
TABLEAU 21/ Principales caractéristiques des tonnes à lisier avec rampes à pendillards	85
TABLEAU 22/ Principales caractéristiques des tonnes à lisier avec enfouisseur	86
TABLEAU 23/ Principales caractéristiques des épandeurs à fond poussant avec caisse et porte étanches	87
TABLEAU 24/ Principales caractéristiques des épandeurs à hérissons horizontaux	88
TABLEAU 25/ Principales caractéristiques des épandeurs à hérissons verticaux	88
TABLEAU 26/ Principales caractéristiques des caisses d'épandage	89
TABLEAU 27/ Critères de performance de la certification	92
TABLEAU 28/ Récapitulatif des caractéristiques du matériel d'épandage	93
TABLEAU 29/ Synthèse des propriétés du sol	96
TABLEAU 30/ Détail du calcul du bilan humique	106
TABLEAU 31/ Valeurs de densités apparentes de sols	108
TABLEAU 32/ Restitutions humiques	108
TABLEAU 33/ Détail du calcul d'une dose de redressement	111
TABLEAU B1/ Distances minimales de localisation du stockage et distances minimales d'épandage en Occitanie	118
TABLEAU C2/ Mesures à respecter pour un stockage d'effluents d'élevage	121
TABLEAU C3/ Distances d'isolement à respecter pour un épandage d'effluents d'élevage	122
TABLEAU C4/ Délais d'enfouissement (épandage sur sol nu)	122
TABLEAU D1/ Coefficients d'équivalence engrais de quelques MAFOR	123



TABLE DES PHOTOS

PHOTO 1/ Exemples de plantes indicatrices	25
PHOTO 2/ BRF et broyat de déchets verts	42
PHOTO 3/ Struvites	47
PHOTO 4/ Palettes inversées	85
PHOTO 5/ Buses de « précision »	85
PHOTO 6/ Epandage par rampe à pendillards	85
PHOTO 7/ Enfouisseur à dents	86
PHOTO 8/ Enfouisseur à disques	86
PHOTO 9/ Rampes à patins	87
PHOTO 10/ Épandeur à hérissons verticaux	88



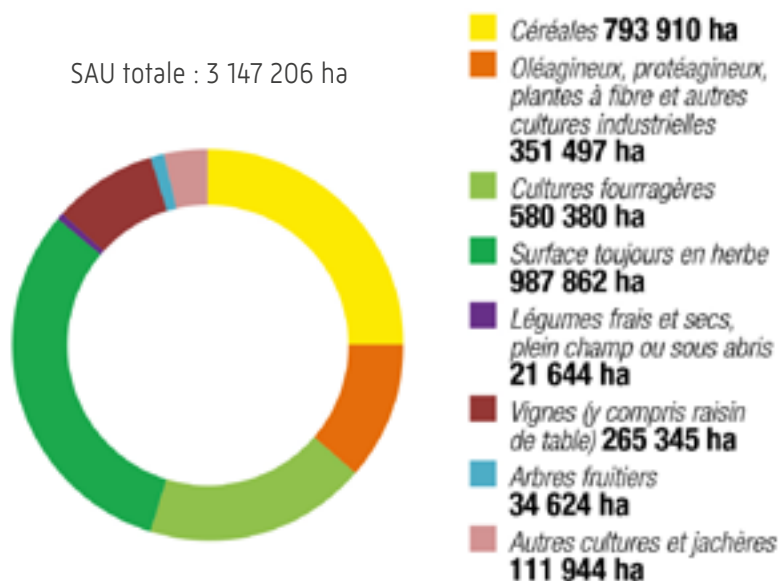


ÉCONOMIE CIRCULAIRE & RETOUR AU SOL

1. L'AGRICULTURE EN OCCITANIE : LA DIVERSITÉ DES PRODUCTIONS

La région Occitanie est la **2^{ème} région agricole française** avec plus de 67 600 exploitations agricoles en 2015. La variabilité des paysages et du climat ont permis le développement d'agricultures très variées, couvrant pratiquement la totalité des productions agricoles existantes en France. Le relief et l'hydrographie expliquent en grande partie leur répartition sur le territoire. En effet, si les montagnes et les causses sont propices à l'**élevage d'herbivores**, les plaines et les coteaux du centre-ouest de la région sont plutôt orientés vers les **grandes cultures**, avec quelques zones adaptées au développement des cultures pérennes, essentiellement le long des cours d'eau. Le littoral, quant à lui, se prête plutôt à la **viticulture** qui est très largement dominante dans cette zone.

FIGURE 1/ Répartition des surfaces agricoles en Occitanie

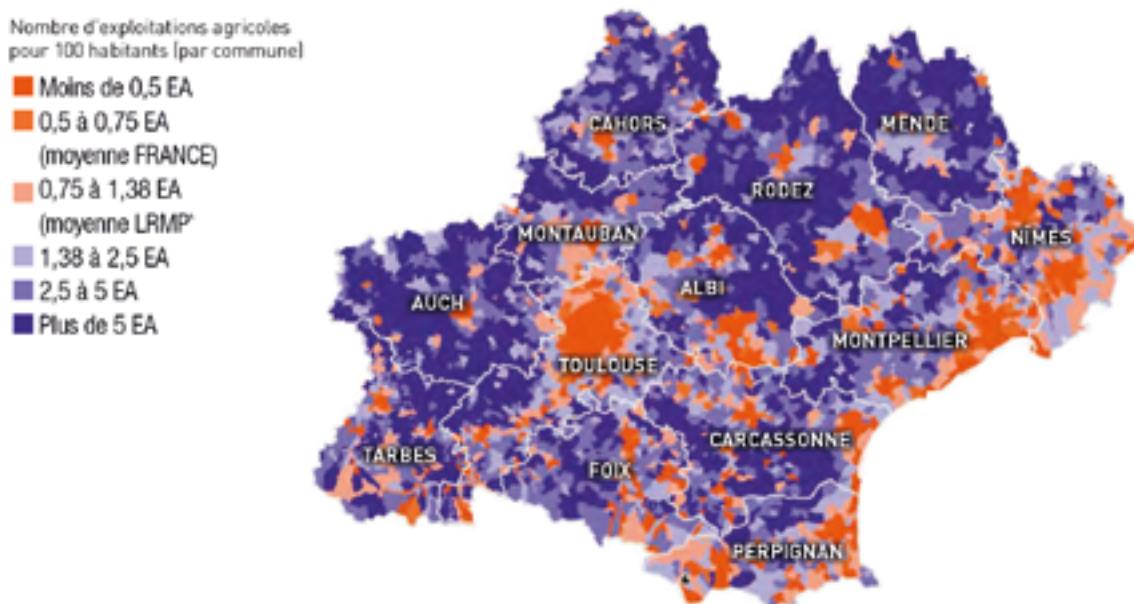


(Source : Agri'scopie 2018, chiffres SAA 2016)

En pourcentage de la SAU française, selon la nature de productions, la région Occitanie occupe souvent les 1^{ers} rangs :












- 1^{ère} région viticole
- 1^{ère} région ovine
- 2^{ème} région productrice de fruits
- 2^{ème} région productrice de maïs semence
- 4^{ème} région productrice de légumes
- 5^{ème} région productrice de céréales et oléo protéagineux
- 8^{ème} région bovine

FIGURE 2/ Densité d'exploitation agricole rapportée à la population en 2010



















(Source : Agri'scopie 2018, chiffres INSEE 2010, RA 2010)

TABLEAU 1/ Les principales productions du territoire

Filière	Productions annuelles (Tonnes, Tonnes Équivalent Carcasse, Litres, Hectolitres)
 Grandes cultures	5 400 000 T
 Maraîchage	470 000 T
 Viticulture	14 800 000 HL
 Arboriculture	535 000 T
 Élevage bovin viande	91 965 TEC
 Élevage bovin lait	825 000 000 L
 Élevage ovin viande	32 488 TEC
 Élevage ovin lait	203 400 000 L
 Élevage caprin	71 300 000 L
 Élevage porcins	72 271 TEC
 Élevage de volaille	40 266 TEC et 393 600 000 œufs
 Élevage de palmipèdes	32 098 TEC

(Source : Agri'scopie, 2018)

TABLEAU 2/ L'évolution des principales surfaces et productions entre 2001 et 2016

		Évolution 2001 > 2016	
Productions végétales	 Céréales	Surfaces	-4%
		Production	-1%
	 Oléagineux	Surfaces	+11%
		Production	+33%
	 Protéagineux	Surfaces	+6%
		Production	-16%
	 Maraîchage / horticulture	Surfaces	-30%
		Production	-25%
	 Viticulture	Surfaces	-21%
		Production	-24%
 Arboriculture	Surfaces	-21%	
	Production	-22%	
 Cultures fourragères	Surfaces	+6%	
 Prairies naturelles, landes et parcours	Surfaces	-3%	
Productions animales	 Bovins viande	Cheptel	-9%
		Production	+1%
	 Bovins lait	Cheptel	-31%
		Production	-19%
	 Ovins viande	Cheptel	-32%
		Production	-25%
	 Ovins lait	Cheptel	-3%
		Production	+14%
	 Caprins	Cheptel	+14%
		Production	+52%
	 Porcins	Cheptel	-31%
		Production	-11%
	 Volailles de chair	Cheptel	-17%
		Production	-30%
 Palmipèdes gras	Cheptel	-25%	
	Production	+11%	

(Source : Agri'scopie, 2018)

D'après le *Tableau 2*, entre 2001 et 2016, seules les surfaces en **oléagineux**, en **protéagineux** et les surfaces en **cultures fourragères** ont connu une **augmentation**. Concernant les productions animales, les **effectifs animaux ont diminué** sur l'ensemble des filières excepté pour les caprins. On constate toutefois une **augmentation de la productivité** pour les bovins viande, les ovins lait, les caprins et les palmipèdes.

2. L'ENJEU DES MAFOR DANS UNE LOGIQUE D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Depuis le 18 août 2015, le concept d'**économie circulaire a été inscrit dans la loi** française : « La transition vers une économie circulaire vise à dépasser le modèle économique linéaire consistant à extraire, fabriquer, consommer et jeter en appelant à une **consommation sobre et responsable** des ressources naturelles et des matières premières primaires ainsi que, par ordre de priorité, à la prévention de la production de déchets, notamment par le **réemploi des produits**, et, suivant la hiérarchie des modes de traitement des déchets, à une **réutilisation**, à un **recyclage** ou, à défaut, à une **valorisation** des déchets. »

FIGURE 3/ L'économie circulaire



Ainsi, les **MAFOR** (déchets verts, marcs de distillerie etc...) peuvent être réutilisées pour **amender ou fertiliser les sols** agricoles dans une logique d'un retour au sol de qualité.

Par ailleurs, le Décret n° 2016-811 du 17 juin 2016 sur les plans régionaux de prévention et de gestion des déchets fait de la prévention et de la valorisation un des axes de la transition écologique vers l'économie de ressources. À ce titre, la région Occitanie élabore un **Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets** (PRPGD) et un **Plan Régional d'Actions en faveur de l'Economie Circulaire** (PRAEC). Le PRAEC met en exergue la question des biodéchets, le retour au sol des MAFOR étant un sujet prioritaire au regard d'enjeux agronomiques et d'appauvrissement des sols.

3. IMPORTANCE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL

De manière globale, les teneurs en matière organique des sols français **décroissent**. Or, la matière organique joue un rôle **très important pour le fonctionnement des sols** et de l'écosystème.

Une bonne gestion de la matière organique dans les sols permet :

- D'améliorer la **qualité de la structure du sol** favorable au bon enracinement et fonctionnement du système racinaire des plantes, ainsi qu'à la bonne infiltration et au drainage de l'eau.

- De réguler les **flux d'eau** : la matière organique a une très forte capacité de rétention d'eau et permet donc d'augmenter la réserve utile du sol.
- De **limiter l'érosion** des sols.
- De maintenir ou augmenter la **fertilité des sols** : c'est un réservoir d'éléments nutritifs, qui grâce à la minéralisation peuvent être libérés et rendus disponibles pour l'absorption par les plantes ou d'autres organismes du sol.
- La matière organique est aussi un **réservoir d'êtres vivants**. Elle accroît ainsi la biodiversité des sols.

RÉSERVE EN CARBONE DES SOLS

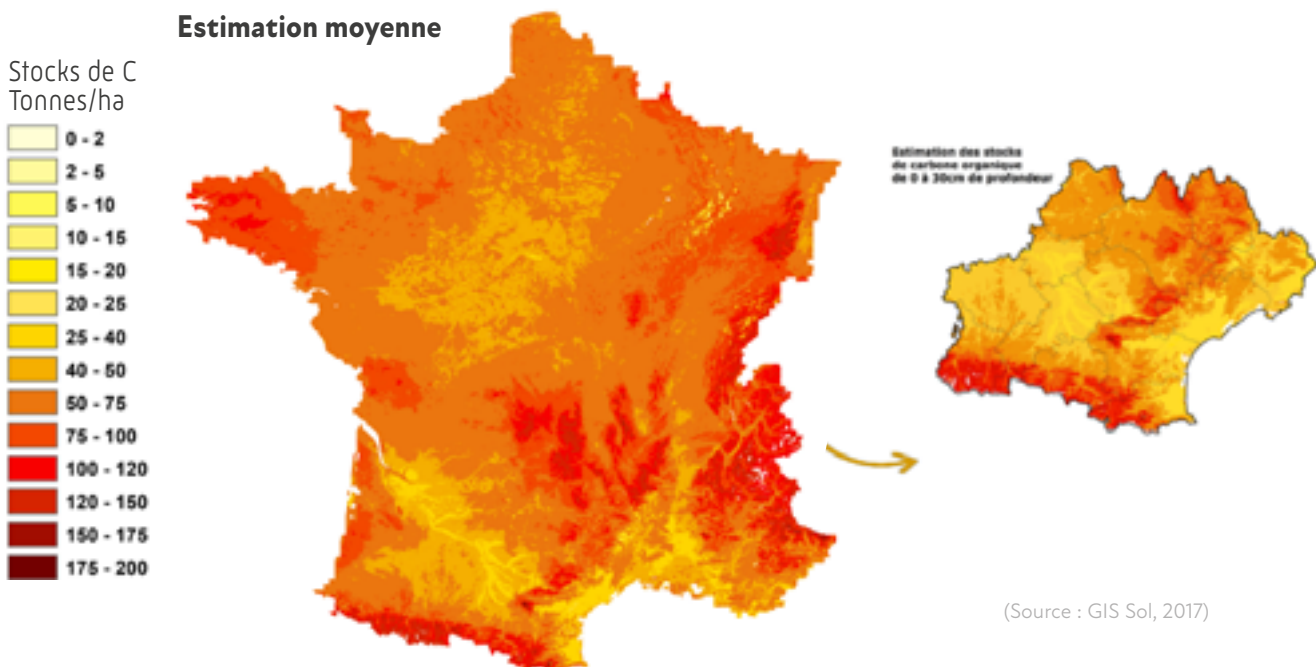
La quantité de carbone présente dans les sols est intimement liée à la **présence de matière organique**. L'observation des stocks de carbone dans les sols (voir Figure 4) montre que les stocks les plus faibles (<40 t/ha) sont observés sur l'arc Méditerranéen (zone fortement viticole, caractérisée par un climat chaud et des sols peu profonds).

Les **stocks de carbone faibles à moyens** (40-50 t/ha) sont caractéristiques des sols des grandes plaines et des sols limoneux comme par exemple le **basin Toulousain**. Les stocks de carbone les plus élevés correspondent à des sols situés en altitude avec des zones d'élevages et une forte présence de prairies comme dans les Pyrénées ou des sols minéralogiques (sols volcaniques du Massif central). Ces stocks peuvent être fortement modifiés par des **changements d'usages ou de pratiques** et ils sont également très **dépendants du climat**.

Les actions permettant d'augmenter ces stocks de façon significative à l'échelle du territoire sont principalement :

- **Les changements d'usage** des sols (conversion de cultures en prairies permanentes, pas d'artificialisation) qui peuvent être encouragées par la mise en place de label carbone.
- **L'adoption de techniques culturales simplifiées** (réduction du travail du sol).
- **L'implantation de cultures intermédiaires et l'enherbement** des vignes et des vergers.
- **Les apports de MAFOR exogènes** (composts, fumiers, etc.) peuvent contribuer à maintenir ou à augmenter significativement cette teneur.

FIGURE 4/ Stocks de carbone dans les sols français et zoom sur la région Occitanie



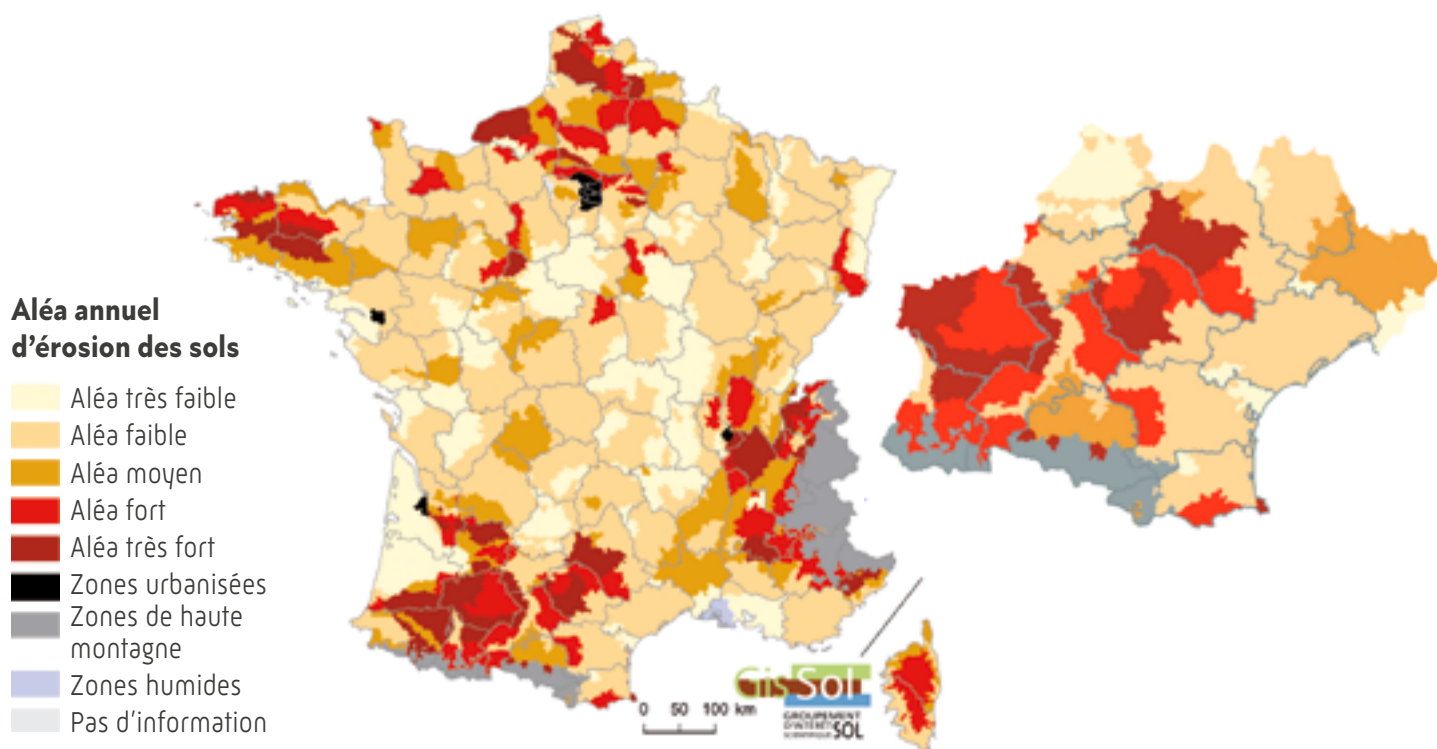
4. L'ÉROSION DES SOLS

L'**aléa d'érosion des sols** est estimé en fonction de plusieurs caractéristiques du **sol** (sensibilité à la battance et à l'érodibilité), du **terrain** (type d'occupation du sol, pente) et du **climat** (intensité et hauteur des précipitations), voir *Figure 5 - Figure 1*.

Les caractéristiques naturelles particulières (topographie accentuée et épisodes pluvieux intenses typiques du climat méditerranéen) associées à la couverture des sols font qu'une partie de la région est exposée aux **phénomènes d'érosion**.

L'aléa est par exemple fort dans le **Gers** ou le **Tarn** en raison de la **structure sableuse** du sol et la présence de grandes cultures d'été avec des sols non couverts en hiver. Il est en revanche faible en **Lozère** par la nature des sols **peu sensibles à la battance** et à leur couverture par des forêts et des prairies. Le maintien de la matière organique sur les parcelles agricoles (par apport ou restitution) permet de limiter l'érosion des sols.

FIGURE 5/ Aléa d'érosion des sols français et zoom sur la région Occitanie



(Source : GIS Sol, 2011)

5. LES SOLS ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'augmentation de la température agit directement sur **l'activité microbienne des sols**. Elle peut donc être à l'origine de l'accélération de certains processus, comme par exemple la **minéralisation de la matière organique**. Cette question est centrale pour la conservation des stocks de carbone organique accumulés dans les sols des régions froides du territoire, comme par exemple dans les pelouses d'altitude. Inversement, en favorisant la productivité végétale dans certaines régions, cette augmentation de la température, ainsi que l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, pourraient être à l'origine **d'entrées de carbone plus importantes** dans les sols. Il est actuellement très difficile de prévoir dans quel sens global jouera le changement climatique. Il est fort probable que les évolutions soient **différenciées sur le territoire**, en fonction de la structure spatiale de ces changements et des stocks de carbone présents aujourd'hui.

Les sols constituent le plus **grand réservoir terrestre de carbone organique**. Ce dernier est le composant principal des matières organiques contenues dans les sols. Toute modification, positive ou négative, des stocks de carbone organique des sols peut ainsi représenter un puits ou une source de CO₂ atmosphérique. Outre son effet d'atténuation du changement climatique, la préservation de la matière organique dans les sols est primordial pour **maintenir et améliorer** la capacité de stockage de l'eau et la fertilité des sols.

L'acceptabilité des MAFOR, une condition à l'utilisation des MAFOR ?

L'acceptabilité repose sur la gestion des risques et des nuisances et est à prendre en compte avant toute utilisation de MAFOR. En effet, des oppositions de la société à l'épandage de certaines MAFOR peuvent parfois se manifester si les impacts ne sont pas maîtrisés ou acceptables ou bien si les nuisances sont jugées trop fortes. De plus, les cahiers des charges de certaines entreprises agroalimentaires ou labels de qualité fixent des mesures plus restrictives que la réglementation et ont un impact sur leur utilisation. Les évolutions réglementaires relatives à l'agriculture biologique doivent aussi être prises en compte.



À RETENIR



La **matière organique** joue un rôle essentiel pour les sols de la région.



Les besoins en matière organique varient selon les **secteurs** et vont également dépendre des différentes **filières de production** de la région.



La réutilisation des MAFOR s'inscrit pleinement dans le cercle vertueux de **l'économie circulaire**.



Par le **stockage de carbone**, les sols sont un allié précieux pour **lutter contre le changement climatique**.



LA VIE DES SOLS

1. LE SOL, UN MILIEU COMPLEXE ET FRAGILE

► 1.1. FORMATION DES SOLS

Le sol est un écosystème complexe constitué de particules **minérales**, de **matières organiques**, d'**eau** et d'**air**. En interaction constante avec son environnement (eau, atmosphère, roche-mère), c'est un milieu **dynamique** qui évolue sans cesse. Cette évolution peut également être conditionnée par des **interventions humaines**.

Il résulte de la **désagrégation physique et chimique** de la roche mère et de la **dégradation des matières organiques** sous l'effet du climat (précipitations, écarts de température, vent...), de sa position dans le relief et de l'activité biologique. La formation d'un sol est un processus **très lent** (voir Figure 6). Plusieurs centaines ou milliers d'années sont nécessaires pour générer quelques décimètres de sol, ce qui fait des sols une ressource **très faiblement renouvelable**.

FIGURE 6/ Étapes de formation d'un sol sur une échelle de temps







(Source : Legros, 2010, repris par A. Noraz, Atelier sur l'acquisition de connaissances de base en pédologie, Conservatoire d'espaces naturels Haute-Normandie, juin 2016)

La **multitude des processus** de formation des sols et l'**interaction** entre ces processus leur confèrent une **diversité** remarquable. Chaque sol est **singulier** et possède des propriétés spécifiques qui évoluent dans le temps.

► 1.2. FONCTIONS DU SOL

Le sol assure **quatre grandes fonctions écologiques** indispensables à la vie des écosystèmes (voir Tableau 3). Ces fonctions sont à l'origine de nombreux services **essentiels** pour les productions agricoles, mais aussi pour la **durabilité** des systèmes agricoles et pour la **qualité** environnementale (voir Figure 7).

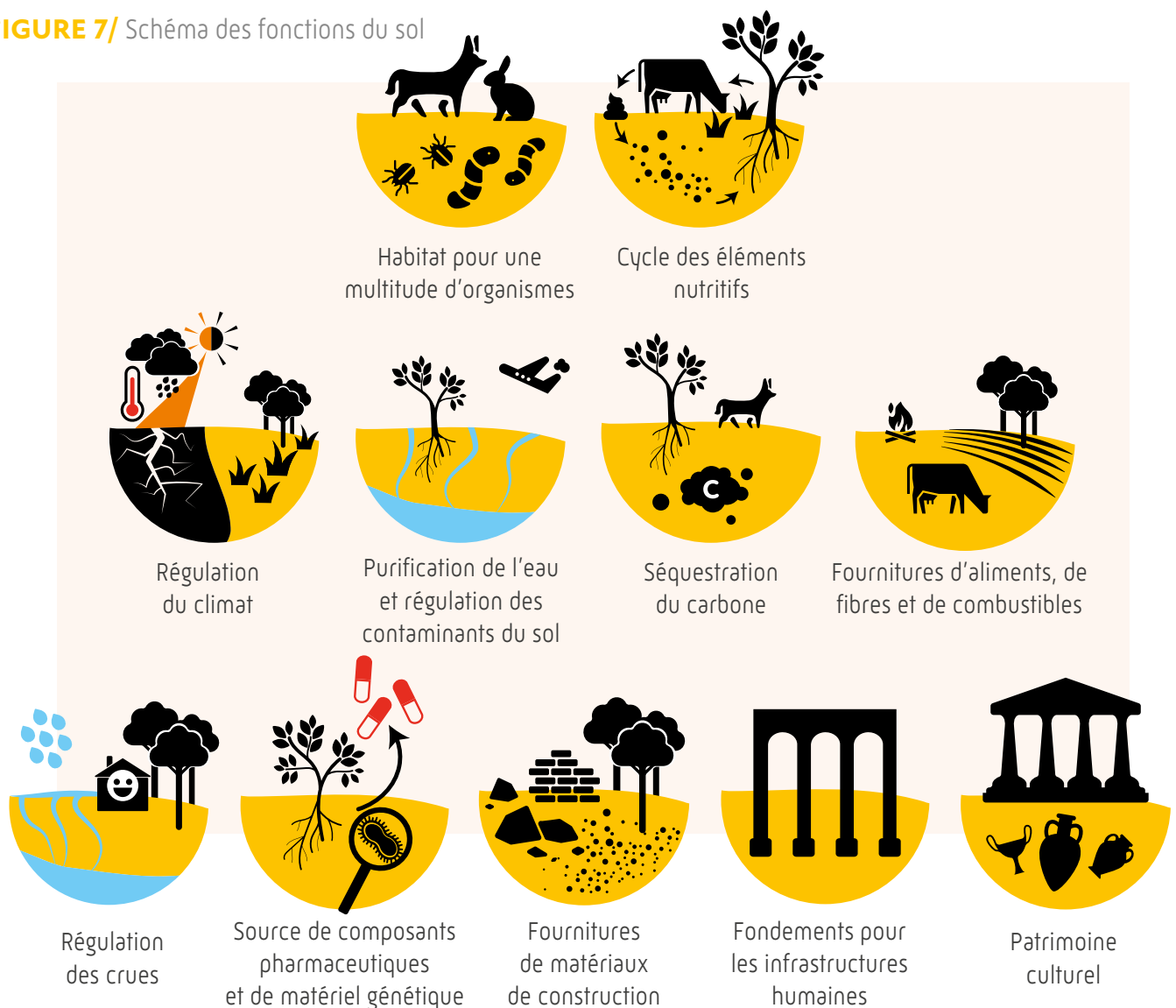
TABLEAU 3/ Fonctions du sol

 Transformation du carbone	Décomposition, dynamique des matières organiques
 Recyclage des nutriments	Capture, dynamique, biodisponibilité des éléments nutritifs
 Maintien de la structure du sol	Agrégation, transport de particules, fourniture d'habitats pour la vie du sol
 Régulation des populations	Contrôle des bioagresseurs, régulation des pathogènes

Le sol est soumis à de nombreuses **pressions naturelles** ou **anthropiques** qui peuvent modifier sa structure et donc son fonctionnement. Ainsi, certaines dégradations (temporaires ou irréversibles) peuvent avoir un **impact majeur** sur l'aptitude du sol à assurer ses fonctions écologiques. La **compréhension** du fonctionnement du sol est donc indispensable pour le **préserver** et le **gérer** durablement.

Ce qui définit la santé d'un sol, c'est donc sa capacité à **assurer ses fonctions** et à **fournir ces services** aux écosystèmes.

FIGURE 7/ Schéma des fonctions du sol





(Source : FAO 2015)

► 1.3. QUALITÉ ET SANTÉ DES SOLS

Il est important de différencier : la qualité (aptitude à **assurer les services attendus**, indispensables à la vie) et la santé (état de **fonctionnement**) des sols. Ce sont deux concepts **distincts mais liés**. La bonne santé du sol va lui permettre d'exprimer sa qualité.



Les 2 concepts de qualité et de santé des sols :

 Qualité du sol	 Santé du sol
Potentiel intrinsèque du sol à assurer ses fonctions	Performance fonctionnelle réelle du sol en lien avec son potentiel

Maintenir les sols en bon état constitue un enjeu central du développement durable. Leur dégradation peut être très rapide comparée au temps nécessaire pour qu'ils se forment naturellement où se régénèrent. Cette dégradation peut revêtir plusieurs formes qui affectent aussi bien leur qualité que leur santé, ce dernier point nécessite beaucoup de **vigilance**.

► 1.4. DÉGRADATIONS DES SOLS ET PROBLÈMES ENGENDRÉS

Différents types de dégradations : comment affectent-elles le sol ?

 Qualité du sol	 Santé du sol
La perte de qualité du sol est due à des dommages permanents (ex : érosion de la couche superficielle du sol, contamination, salinisation) qui réduisent de façon durable la plage de fonctions	La perte de santé du sol est due à des dégradations réversibles (ex : compactage de la couche superficielle du sol, réduction des matières organiques des sols) qui réduisent l'actuelle plage de fonctions mais non le potentiel

La dégradation du sol peut affecter la qualité du sol de façon **permanente** alors que la santé du sol pourra être **corrigée et améliorée** (par du travail mécanique, des apports nutritifs par exemple).

Les causes de dégradations dépendent principalement des **interventions humaines**. L'imperméabilisation, l'érosion, le tassement, la perte de matière organique et de biodiversité ou encore les contaminations sont autant de facteurs qui modifient les sols entraînant parfois des effets indésirables (*voir encadré ci-contre*).

La qualité et la santé d'un sol dépendent de son **utilisation** (prairies, vignes, forêt, bande enherbée, etc.) et de sa **gestion** (labour, irrigation, amendement, etc.).

Par exemple, un sol de vignes parfaitement adapté à la production viticole, s'avérerait en revanche trop pauvre pour produire des céréales à bon potentiel ; un sol en pente peut être difficile à travailler, mais pourrait faire un pâturage acceptable, etc.

Quelques exemples de problématiques sols en Occitanie¹...

Le sol est exposé à de nombreuses menaces telles que :

ÉROSION HYDRIQUE

Les sols peuvent **perdre de grandes quantités** de terre lors d'épisodes pluvieux intenses ou fréquents. La partie érodée est souvent la couche **superficielle et fertile** des parcelles (les éléments fins argileux et limoneux) et représente donc des **pertes de nutriments**. De plus, le **ravinement** peut être problématique : destruction de la culture, difficultés de passage...

L'érosion est accentuée par la **pente**, des **précipitations abondantes** et la **nature** même du sol (les sols sableux sont plus sensibles). Mais elle peut être **limitée en adaptant le travail du sol** (pas ou peu de travail, travail perpendiculaire à la pente lorsque c'est possible), en **couvrant le sol** (implantation de prairies, de couverts intermédiaires...), en augmentant le taux de **matière organique**...

BATTANCE

Il n'est pas rare qu'une « **croûte de battance** » se forme suite aux pluies. Ce phénomène dépend de la **texture** du sol (dominance de limons), et est donc difficilement modifiable. Cette croûte, peu perméable à l'eau, empêche **l'infiltration en profondeur** des pluies. En plus du manque d'eau pour les plantes, elle favorise le **ruissellement** et **gêne leur développement** (principalement la germination).

Pour la limiter, on peut **adapter le travail du sol**, augmenter la **couverture végétale** et le taux de **matière organique** du sol, ce qui améliore sa stabilité structurale.

SALINISATION

Une présence importante de sels (sodium, mais aussi d'autres sels inorganiques) est **nocive** pour les **plantes**, mais aussi pour la **structure** du sol. Certains sols en sont naturellement riches. Pour neutraliser et éliminer ce sodium, des apports **d'eaux peu chargées**, de calcium ou de gypse, et un **drainage** efficace sont nécessaires. En zone littorale, le phénomène a une autre cause : les **nappes phréatiques très basses en été**, se vident de leur eau douce. Les fleuves côtiers et les canaux en contact avec les lagunes se salinisent par les remontées d'eau de mer et remplissent ainsi les poches souterraines en eau salée.

FAIBLE TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE

Certaines cultures comme les vignes demandent **peu d'éléments nutritifs** et l'entretien en matière organique du sol est donc parfois négligé. Les **sols s'appauvrissent** alors année après année. Dans ces cas, ils fournissent moins d'éléments nutritifs et d'eau à la culture. La vie biologique se réduit également, ce qui peut impacter la structure du sol et les cycles des éléments chimiques. Des apports de **MAFOR stables**, la **restitution de résidus** de culture, **l'enherbement** permettent, entre autres, de redresser ou d'entretenir ce taux dans le sol.

ACIDIFICATION DES SOLS LIÉE À LA ROCHE MÈRE

Une acidité trop importante (faible pH) diminue notamment l'absorption des éléments nutritifs par les plantes. Elle rend disponible une **forme d'aluminium qui est toxique** pour la plante. Le **chaulage**, c'est-à-dire l'apport d'un amendement basique, est la seule solution permettant de redresser le pH d'un sol trop acide.

SÉCADE

Le manque d'eau a un impact sur la croissance des plantes, mais aussi sur l'activité des **microorganismes** du sol. Pour limiter ce manque d'eau, on peut essayer **d'augmenter la réserve** utile du sol en améliorant sa structure, par des **apports de MAFOR** ou des **amendements calciques**. On peut également utiliser un paillage (ou mulch) comme de la paille ou des écorces. En créant de la micro-porosité, les organismes vivants du sol jouent aussi un rôle important dans l'amélioration de la réserve utile.

Mais aussi **l'imperméabilisation causée par l'urbanisation**, le **tassement** dû aux passages de machines agricoles, le **surpâturage**, la **contamination** : le sol peut fixer les substances organiques ou minérales polluantes produites par les activités urbaines, agricoles ou industrielles.

Il n'existe donc **pas de recette unique**, car chaque parcelle est différente et présente des problématiques spécifiques. En effet chaque sol a une qualité qui lui est propre. En revanche, il y a souvent **plusieurs leviers d'action** à combiner pour corriger le ou les problèmes, améliorer la santé du sol et ainsi atteindre son potentiel maximal.

2. LES MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL, UN PILIER DU FONCTIONNEMENT DES SOLS AGRICOLES

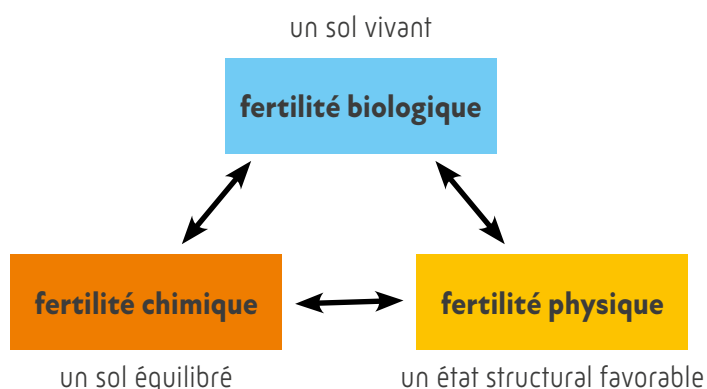
La santé et la qualité d'un sol peuvent s'évaluer grâce à sa **fertilité**. La fertilité d'un sol agricole se définit comme un sol vivant capable de nourrir les cultures pour produire en quantité et en qualité de manière durable.

Sur le plan agronomique, la fertilité des sols repose sur **3 composantes étroitement liées** : chimique, biologique et physique.

La **composante biologique de la fertilité** influe sur l'état physique du sol, sur la quantité et la qualité des matières organiques et sur la disponibilité des éléments nutritifs.

Dans ce guide qui traite des constituants organiques, l'accent sera porté sur cette composante biologique qui représente en moyenne **5% des constituants du sol**.

FIGURE 8/ Les 3 composantes de la fertilité des sols



► 2.1. LES MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL

Le terme "**MO du sol**" regroupe l'ensemble des **constituants organiques morts ou vivants**, d'origine **végétale, animale** ou **microbienne**, transformés ou non, présents dans le sol. Elles représentent en général **1 à 10 %** de la masse des sols.

La MO du sol se constitue de :

- > **15 %** d'organismes vivants (10 % de racines et 5 % de faune et micro-organismes)
- > **85 %** de matières organiques mortes.

Ces MO se répartissent en deux groupes² :

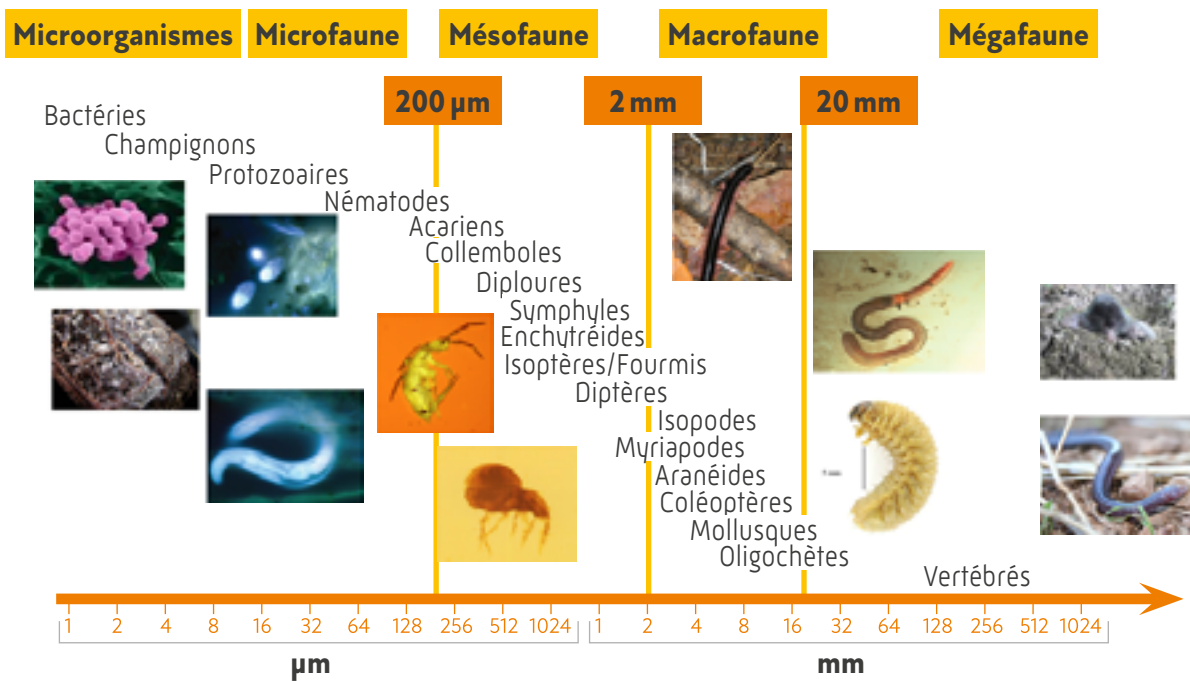
- **la Matière Organique Vivante (MOV) : 15 %** (animale, végétale, fongique et microbienne)
Elle englobe la totalité de la biomasse en activité (racines, vers de terre, microflore, faune du sol...). Les racines des végétaux vivent et meurent dans le sol. Leur activité agit sur la structure, modifie localement les conditions physico-chimiques du sol dans la rhizosphère, « point chaud » de l'activité biologique. On considère qu'un quart de la biodiversité mondiale réside dans les sols mais elle est encore insuffisamment connue.

• **la Matière Organique Morte (MOM) : 85 %**. Elle se divise en deux sous-groupes :

> **la MO facilement décomposable** - Les débris d'origine végétale (résidus végétaux, exsudats), animale (déjections, cadavres), fongique et microbienne (cadavres, exsudats) sont appelés MO fraîche. Les produits transitoires ou MO libre sont issus de la dégradation de la MO fraîche par l'activité microbienne.

> **la MO stable** - Les composés organiques stabilisés et les matières humiques (ou humus) forment la MO stable ou MO liée. Elle résulte de l'évolution des matières précédentes (MOV et MO fraîche). La partie humus représente 70 à 90 % du total des composants biologiques.

FIGURE 9/ Les sols renferment une vie extrêmement diversifiée



(Source : Blanchard et al, modifié d'après Swift et al.,1979)

D'un point de vue chimique, qu'est-ce que la matière organique du sol ?

- pour moitié, de la matière carbonée (C)
- des macroéléments majeurs : Hydrogène (H), Oxygène (O), Azote (N)
- 5 autres macroéléments : Soufre (S), Phosphore (P), Potassium (K), Calcium (Ca), Magnésium (Mg) (<1% MS)
- une vingtaine d'oligoéléments : Cuivre (Cu), Fer (Fe), Manganèse (Mn), Zinc (Zn), Cobalt (Co), Molybdène (Mo),...

Ces différents groupes jouent un rôle essentiel dans la structure du sol au sein du complexe argilo humique :

- > la MO stable est **liée chimiquement aux argiles**,
- > la MO facilement décomposable (MO fraîche) sert de **carburant à la MO vivante** qui va générer une colle microbienne, participant ainsi à la structuration des agrégats.

Or, l'observation du terrain et les progrès faits dans la caractérisation biologique des sols montrent que ce complexe, parfois très fragile s'il n'est pas assez lié au **calcium** (sols neutres ou acides), est protégé par une colle organique, la **glomaline**, produite essentiellement par les **champignons mycorhiziens**. Cette protection est surtout efficace contre la dégradation de la structure du sol par l'action de l'eau.





► 2.2. FONCTIONS DES MO DU SOL

Dans le sol, les MO assument de nombreuses fonctions **agronomiques et environnementales**³ synthétisées dans le *Tableau 4*.

- Elles assurent le **stockage** et la mise à disposition pour la plante, par **minéralisation**, des éléments nutritifs dont elles ont besoin.
- Elles stimulent **l'activité biologique**, étant à la fois source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les organismes du sol.
- Elles ont un rôle central dans la **structuration du sol** et participent à sa stabilité vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, tassement...) en limitant notamment l'érosion hydrique.
- Elles favorisent le **réchauffement** du sol (coloration plus sombre des matières organiques).
- Elles contribuent à la **perméabilité, l'aération** du sol et la capacité de **rétenion** en eau.
- Elles jouent un rôle fondamental pour les autres compartiments de l'environnement en participant au maintien de la **qualité de l'eau** par leur forte capacité de rétention des polluants organiques (pesticides, hydrocarbures...) et minéraux (éléments traces métalliques).
- Mais elles peuvent être aussi **source de polluants** potentiels, comme les nitrates et les phosphates.
- Elles influencent également la **qualité de l'air**, par le stockage ou l'émission de gaz à effet de serre. Elles ont un rôle de **puits ou d'émetteur de carbone** (principalement sous forme de CO₂). Certains changements d'usage des pratiques agricoles favorisent le stockage du carbone dans les sols (conversion de cultures en prairies). Au contraire, la mise en culture de ces prairies entraîne une diminution du stock de carbone ou encore l'augmentation de la fréquence du travail du sol (labour) favorise la minéralisation et donc le déstockage du carbone.

La fraction vivante des MO joue un rôle très important pour assurer le bon fonctionnement du sol. Chaque organisme remplit des services individuels spécifiques.

TABLEAU 4/ Les rôles multiples de la faune du sol dans le cycle de la matière organique

Catégorie	Exemples	Fonction	Régime alimentaire
 Macrofaune	Taupes, lombrics, araignées, fourmis...	Fragmentation de la MO + brassage de la matière minérale	Résidus de végétaux, cadavres d'invertébrés, champignons, bactéries
 Mésafaune	Collemboles, acariens, annélides	Broyeurs de feuille	Résidus végétaux, algues, champignons, bactéries
 Microfaune	Protozoaires, nématodes	Microphages (consomment les colonies de bactéries), prédation et stimulation du renouvellement de la microflore	Champignons, bactéries, débris organiques, algues
 Microflore	Bactéries, champignons	Indispensables au cycle du carbone et de l'azote Dégradation de la MO	Matière organique et atmosphérique Résidus végétaux, parasite, symbiote mycorhizien
	Algues	Synthèse de MO à partir de matière minérale et CO ₂	

3. ÉVALUER L'ÉTAT DU SOL

► 3.1. OBSERVATION DU CONTEXTE PARCELLAIRE ET DE L'ÉTAT DE SURFACE DU SOL

Pour établir un premier diagnostic de l'état structural du sol, la première étape consiste à **l'observer**. La bonne connaissance du sol est un prérequis indispensable pour améliorer sa fertilité.

3.1.1. Observation du sol en surface

Dans un premier temps, il est important de se focaliser sur les éléments observés à la **surface du sol**. Ils vont pouvoir nous renseigner sur un certain nombre de conditions agronomiques, les **échanges vitaux sol/air/eau** ou l'activité **biologique** :

- **Le contexte topographique** — localisation de la parcelle. *Exemple : parcelle située en bas de versant à proximité du cours d'eau, à mi-versant, en zone de coteaux, sur un plateau...*
- **L'aménagement naturel ou humain de la parcelle** — description des éléments naturels ou liés aux pratiques culturales : présence de haies, d'arbres isolés en limite de parcelle, bandes enherbées...
- **Les signes d'érosion** — perte d'éléments (terre...). Elle se remarque par la présence de marqueurs physiques. *Exemple : pente plus ou moins forte, présence de ravines, accumulation de limons sur les fossés et les bas-fonds...*
- **Le tassement** — enfoncement du sol. Présence de marqueurs physiques l'indiquant.
Exemples : repérage d'ornières et/ou de passages de roues répétées...
- **La battance** — présence ou non d'une croûte à la surface du sol empêchant l'eau de s'infiltrer.
- **La couverture** du sol par les plantes ou les résidus végétaux.
- **L'hydromorphie** — présence de zones où l'eau stagne (mouillères).
- **La pierrosité** — présence de cailloux.
- **Vers de terre** — présence en abondance de turricules
- **Les plantes indicatrices** — elles renseignent sur le fonctionnement d'un sol à un moment donné. Identification de la végétation spontanée qui germe quand des conditions spécifiques sont réunies.

PHOTO 1/ Exemples de plantes indicatrices



Rumex petite oseille
acidité



Plantain majeur
tassement du sol



Jonc
excès d'humidité



Anthriscue
excès d'azote

3.1.2. Observation du sol en profondeur

Dans un second temps, il est important de se focaliser sur la **partie cachée du sol** située en profondeur. On peut étudier les horizons d'un sol à l'aide d'un sondage à la tarière ou à la bêche ou enfin d'une fosse pédologique (profil cultural complet)³.

Ces méthodes d'observation vont permettre de caractériser de nombreux paramètres qui nous renseignent sur la **composition** du sol, son **comportement**, les **conditions agronomiques** (par exemple sur la circulation de l'air et de l'eau, l'enracinement), l'**activité biologique** etc... On peut les répéter à **différentes profondeurs** pour être encore plus précis dans le diagnostic.

- **La texture** — par le toucher, on peut évaluer la prédominance des éléments : sableux, limoneux, argileux. Leur proportion va déterminer le comportement du sol.
 - *Sols sableux* : toucher rugueux (grossier ou fin), ce sont des sols légers et bien aérés, qui se réchauffent vite et facilitent la pénétration racinaire mais retiennent très peu l'eau et les nutriments.
 - *Sols limoneux* : toucher doux et soyeux, ce sont des sols fertiles modérément légers et aérés mais qui peuvent être sensibles à la pluie en formant une croûte de battance.
 - *Sols argileux* : l'argile confère un toucher collant, le test du « boudin » affine le diagnostic (20 % d'argile : on peut faire un boudin, 30 % et plus d'argile : on peut former un anneau avec le boudin), sols lourds et peu aérés, ils retiennent bien l'eau et les nutriments mais se tassent facilement.
- **La porosité** — abondance des pores pour caractériser les capacités d'infiltration ou l'activité biologique.
- **La couleur** — la couleur de la terre peut donner des indications sur la constitution des éléments du sol et certaines actions chimiques. Ainsi, la couleur foncée d'un sol sera due à la présence de matière organique, la couleur plus blanche est associée au calcaire, une terre brune correspond à la brunification des sols (altération modérée des minéraux de la roche mère en sol peu acide), le rouge est caractéristique de l'oxydation du fer...
- **L'état d'humidité** — sec, frais, humide, très humide, noyé.
- **Les traces d'hydromorphie** — taches de rouilles, tâches d'oxydo-réduction, concrétions ferromanganiques..., ce sont des marques d'excès d'eau temporaires ou permanents.
- **La structure** — architecture du sol, mode d'agrégation de ses composants physiques, biologiques et chimiques.
- **La compacité** peut être évaluée par le test au couteau qui permet de caractériser l'état du sol : meuble, peu à moyennement compact, compact à très compact).
- **Le tassement** : effet du passage d'outils (semelle de labour, lissage).
- **L'enracinement** : il est à mettre en lien avec le test de compacité, colonisation des racines (profondeur d'enracinement, forme et densité).
- **La vitesse de dégradation** des résidus de culture, du fumier.

3.1.3. Les outils d'aide au diagnostic

Si l'on veut aller plus loin dans l'observation du sol, il existe de nombreux outils d'aide au diagnostic.

- **Le test bêche**

L'exercice consiste à creuser une petite tranchée afin de prélever un bloc de sol sur l'horizon 0- 40 cm et de l'observer tenu sur la bêche puis posé sur une bâche. Ainsi, les modes d'assemblage, les fissurations, la proportion de terre fine et de cailloux, les différentes classes de mottes prélevées peuvent être observés.

Les mottes sont classées selon l'importance des macroporosités (espaces vides) visibles à l'œil, le passage des racines et le type de galeries de vers de terre.

- **La présence de vers de terre dans le sol**

La présence des vers de terre dans le sol est un indicateur de l'état de santé du sol. Il existe différentes espèces de vers de terre, chacune spécialisée, qui ont une influence directe sur le sol. La présence des galeries et des déjections (turricules) assure un rôle de transfert des éléments dans les strates du sol. Les vers de terre permettent l'enfouissement de la matière organique et ont un rôle biologique grâce aux interactions entre le système racinaire des plantes et les microorganismes du sol.

Il existe différents protocoles pour évaluer la quantité de vers de terre comme par exemple test à la moutarde qui consiste à appliquer un mélange d'eau et de moutarde sur une zone donnée afin de faire remonter à la surface les vers de terre présents.

► 3.2. DIAGNOSTIC DE L'ÉTAT BIOLOGIQUE DES SOLS

Afin de mieux connaître son sol, des analyses permettent de déterminer plus finement les éléments le constituant. Grâce à celles-ci, il est possible de diagnostiquer son **état de santé biologique**.

Les laboratoires spécialisés recherchent notamment dans les échantillons de sol :

- le taux de **MO**,
- la teneur totale en **azote**,
- le rapport **carbone sur azote** (C/N) qui indique le **taux de dégradabilité de la MO**.

Ce type d'analyses est pratiqué de façon routinière.

La détermination (quantitative) du taux de MO est un élément de base du suivi de la fertilité de la parcelle et un outil d'aide à la décision pour le raisonnement des apports.

Cependant cette teneur ne présage en rien de la qualité des MO ni du fonctionnement biologique des sols.

Pour ce faire, des analyses complémentaires sont nécessaires :

- **fractionnement** de la MO,
- **biomasse microbienne** (BM),
- **minéralisation** du carbone et de l'azote,
- indice **d'activité microbienne**.

3.2.1. Fractionnement des MO du sol

Le fractionnement granulométrique de la MO consiste à séparer selon leur **taille**, par tamisage à l'eau, les trois fractions de la MO qui se localisent dans les agrégats du sol :

- **La fraction MO libre/rapide** (200 à 2 000 μm) : MO non protégée, elle est constituée de résidus végétaux associés à des composés microbiens. C'est la MO la plus sensible aux pratiques agricoles. Elle a un turn-over rapide, de 2 à 3 ans,
- **La fraction MO libre/lente** (50 à 200 μm). Elle est située dans les micro-agrégats du sol (sites inaccessibles aux micro-organismes et/ou conditions défavorables à l'activité biologique) et est donc protégée physiquement de la dégradation. C'est la MO en cours de digestion avec un turn-over lent, d'une trentaine d'années.
- **La fraction MO liée/lente** (< 50 μm). Il s'agit de la MO protégée chimiquement car en association intime avec les limons et les argiles et protégée biochimiquement car liée à sa composition intrinsèque qui la rend résistante à la dégradation. En général, cette fraction est en proportion majoritaire dans les sols cultivés. Elle a un temps de résidence de plus de 100 ans.

APPLICATION AGRONOMIQUE :

L'analyse de ces trois fractions permettra d'apprécier la dynamique d'évolution des MO et l'effet des pratiques organiques sur la réserve organique du sol. La répartition des fractions permet aussi le choix de la MAFOR adaptée.

3.2.2. Biomasse microbienne (BM)

Elle représente la quantité de « **carbone vivant** » contenue dans les microbes du sol, essentiellement bactéries et champignons. Elle constitue un indicateur précoce de la dynamique de la MO qui réagit vite aux réactions favorables ou défavorables du milieu. On l'exprime **en mg de carbone/ kg de terre**.

Ordre de grandeur⁴ :

- Sols cultivés : 0-1000 mg C/kg de terre
- Prairies de longues durées ou litières forestières : > 1000 mg C/kg
- Grandes cultures : 200-800 mg C/kg
- Viticulture (régions sud) : 50-300 mg C/kg

APPLICATION AGRONOMIQUE : calcul du BM/carbone

Le rapport BM/carbone organique est un paramètre qualitatif pour apprécier le fonctionnement du sol. Exprimé en %, il varie habituellement **entre 0 et 5 %**. Les valeurs les plus faibles signalent, pour un type de sol donné, un environnement physique (compaction, tassement, hydromorphie) et chimique (pH acide, déficit en calcium, toxicité cuprique...) défavorable à la vie.

3.2.3. Minéralisation du carbone et de l'azote

L'objectif est d'estimer les réserves de MO potentiellement dégradables du sol, c'est à dire les réserves énergétiques facilement accessibles pour le vivant. La stabilité de la MO et de l'azote potentiellement disponible pour les plantes est également étudiée.

• La minéralisation du carbone

L'**indice de minéralisation** du carbone (proportion de carbone actif pour 100 g de carbone total) détermine l'**activité de la MO du sol**. Grâce à cet élément rapporté à la biomasse microbienne (C minéralisé/biomasse microbienne), la capacité respiratoire de la biomasse et son fonctionnement peuvent être évalués.

APPLICATION AGRONOMIQUE : De faibles valeurs de minéralisation du carbone signifient de **faibles réserves énergétiques du sol** : il faut apporter de la MO facilement dégradable (matières fraîches telles que le fumier non composté) pour stimuler la biologie.

• La minéralisation de l'azote

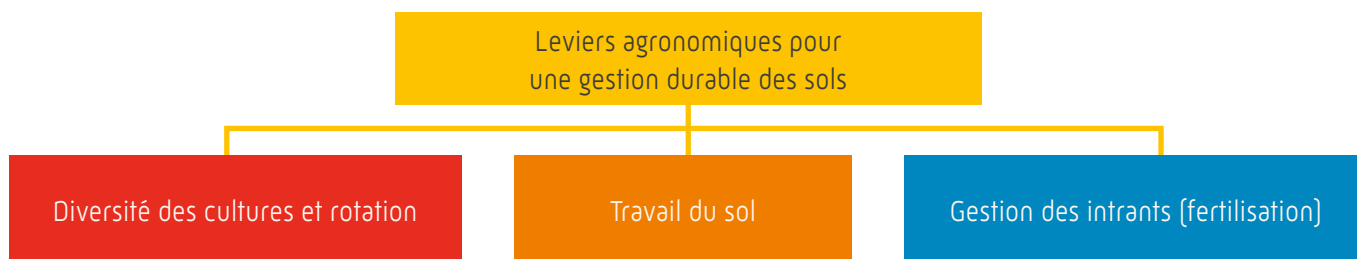
Le **potentiel de minéralisation de l'azote** informe sur la capacité du sol à **transformer cet élément chimique** et ainsi à le rendre disponible. Cela va déterminer la **réserve énergétique** du sol. Ce potentiel est approché grâce au calcul de l'azote minéral présent après 28 jours d'étuve dans des conditions standardisées et optimisées pour l'activité biologique.

APPLICATION AGRONOMIQUE : La minéralisation de l'azote permet d'avoir une estimation du **potentiel de fourniture d'azote du sol**.

4. MAINTENIR OU AMÉLIORER L'ÉTAT BIOLOGIQUE DES SOLS

Maintenir ou améliorer l'état biologique des sols passe par **l'amélioration de leur fertilité**. C'est un objectif central qui cherche à mieux utiliser les ressources et les services fournis par les sols. Les moyens utilisés combinent la **diversité des cultures** ou successions culturales, les techniques de **travail du sol** et de semis et les **amendements** minéraux et organiques (les apports anthropiques).

FIGURE 10/ Leviers agronomiques pour une gestion durable des sols



► 4.1. DIVERSITÉ DES CULTURES ET ROTATION

4.1.1. L'allongement des rotations

La **rotation** est un levier majeur pour le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols. La rotation culturale est, en agriculture, la **suite de cultures échelonnées au fil des années** sur une même parcelle. Une bonne gestion de **l'alternance** des productions aura un effet bénéfique sur chacune d'entre elles et sur les conditions agronomiques globales de la parcelle.

La succession de plantes de **familles différentes** (par exemple alternance de graminées, crucifères, légumineuses) et de **périodes de semis différentes** (culture de printemps et culture d'hiver) permet de **rompre le cycle** de certaines adventices et de limiter leur développement. Grâce aux systèmes racinaires différents, le profil du sol est mieux exploré, ce qui se traduit par une **amélioration des caractéristiques physiques du sol** et notamment de sa **structure** (en limitant le compactage et la dégradation des sols). La capacité d'exploration du sol et l'alimentation hydrique des cultures sont ainsi améliorées.

L'emploi de **légumineuses** permet une **moindre dépendance aux engrais chimiques azotés**, et une restitution d'azote symbiotique dans le sol pour les cultures suivantes. D'une façon générale, la composition des différents résidus de cultures participe à la qualité de la MO du sol, on peut l'évaluer à travers le **rapport C/N**.

4.1.2. Les associations culturales

L'association culturale consiste à **cultiver simultanément plusieurs espèces différentes sur une même parcelle**. Les associations reposent sur l'idée simple que la diversité des espèces en un même lieu, permet de mieux valoriser les potentialités agronomiques des sols. L'objectif est de maximiser les interactions positives entre les espèces.

Les associations sont **rustiques** : la diversité de leur composition permet une résistance accrue à l'aléa climatique, et une réduction de la sensibilité aux maladies et aux ravageurs. De même, les associations d'espèces **limitent le développement de flores adventices** par une couverture du sol dense.

L'utilisation de **légumineuses** dans ces mélanges présente de nombreux avantages. Les racines des légumineuses abritent des bactéries Rhizobium dans leurs nodules racinaires. Celles-ci **fixent l'azote** gazeux de l'air du sol, et le **transforme** afin qu'il puisse être utilisé par la légumineuse elle-même. Grâce à la fixation symbiotique, les légumineuses s'alimentent en azote de manière **autonome** et laissent donc plus d'azote disponible dans le sol pour les cultures qui leur sont associées. Après récolte, les résidus de culture laissés par les légumineuses apporteront un **effet azote** plus important pour la culture suivante. Sur une luzerne, la fixation d'azote peut atteindre 300 kg de N/ha en 2^{ème} année d'exploitation.

L'**association avec des légumineuses** reste essentielle en agriculture biologique qui interdit l'usage des engrais azotés minéraux.

4.1.3. Cultures Intermédiaires Multi-Services (CIMS)

L'interculture est la **période**, dans la rotation culturale, **comprise entre la récolte d'une culture principale et le semis de la suivante** ; elle peut durer de quelques jours à plusieurs mois. Cette période peut être valorisée pour favoriser la biodiversité végétale et les organismes du sol et produire des services écosystémiques en lien avec la fertilité des sols, le cycle du carbone, la qualité de l'eau, la régulation des bioagresseurs. Les **Cultures Intermédiaires Multi-Services** sont des cultures semées en interculture pour produire des services écosystémiques autre que la production de fourrages ou de graines. Les CIMS peuvent aussi avoir une vocation non alimentaire comme la production d'énergie ou la production de matériaux.

De **nombreuses espèces** peuvent être utilisées (avoine rude, moutarde, radis, phacélie...), seules ou en mélange notamment avec des légumineuses (trèfle, vesce, féverole, pois, ...). Le choix est à réaliser en fonction de la succession de cultures, du matériel disponible pour le semis, des objectifs et contraintes pendant la période d'interculture, des périodes de semis, du type de sol et du mode de destruction (gel, outil mécanique, et si possible sans herbicide).

Les fonctions recherchées dans une parcelle agricole sont principalement :

- 1) **le recyclage des éléments minéraux** (nitrate, phosphore, potassium, soufre...),
- 2) **la couverture des sols** (anti-érosion),
- 3) **la structuration du sol**,
- 4) **la gestion des adventices et des ravageurs**,
- 5) **le stockage de matière organique et de carbone** dans les sols.

Mais les CIMS peuvent aussi rendre d'autres services :

> Au bénéfice de **l'environnement** : les couverts implantés en hiver limitent la lixiviation des nitrates vers les cours d'eau (Couvert Intermédiaire Piège à Nitrates ou CIPAN) ;

> Au bénéfice de la **biodiversité** : la mise en place d'un couvert peut servir de refuge à la petite faune de plaine (perdrix, faisan, lièvre...) tout en lui apportant de la nourriture. Un couvert fleuri ou composé avec des espèces mellifères permettra le nourrissage des insectes pollinisateurs.

► 4.2. ADAPTER LE TRAVAIL DU SOL : LES EFFETS DES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE TRAVAIL DU SOL





L'objectif est de mettre en place des techniques culturales visant à maintenir⁵ :

- plus de 30 % de la surface du sol couverte après le semis pour lutter contre l'érosion hydrique,
- plus de 1,1 t/ha de résidus en surface après le semis pour lutter contre l'érosion éolienne.

Lors de l'emploi de techniques culturales simplifiées et encore plus du semis direct, la **MAFOR est peu ou pas enfouie et s'accumule en surface**. La minéralisation des MO du sol est ralentie. Mais ce sont surtout les pratiques de l'agriculture de conservation qui répondent le mieux à ces objectifs :

Agriculture de conservation = réduction forte (voire totale) du travail du sol x couverture permanente du sol (par un couvert vivant ou mort) x utilisation de cultures intermédiaires.

TABLEAU 5/ Techniques de travail du sol / culturales et leurs effets

	Labour profond	Labour superficiel dit "agronomique"	Techniques Culturales Simplifiées Travail Superficiel	Semis direct
Profondeur de travail	20 - 30 cm	Autour de 15 cm	10 - 15 cm	2 - 5 cm sur ligne de semis
Matériel	Charrue 	Charrue déchaumeuse 	Déchaumeurs 	Semoirs de semis direct 
	Retournement		Non retournement	
Avantages	+ Contrôle des adventices + Enfouissement des résidus + Correction des problèmes de tassement + Favorise la minéralisation	+ Contrôle des adventices + Enfouissement des résidus + Conserve la MO en surface + Favorise la minéralisation	+ Faible perturbation du sol + Conserve la MO en surface + Présence de résidus en surface : réduit l'érosion + Réduction des charges de mécanisation	+ Conservation de sols (favorise la biodiversité et conserve la MO) + Présence de résidus en surface : évite les problèmes d'érosion + Favorise le stockage carbone + Réduction des charges de mécanisation
Inconvénients	- Disparition de la couche d'humus superficielle - Diminution de la MO en surface - Destruction de la vie du sol - Problème d'érosion - Charges de mécanisation	- Diminution MO (minéralisation) - Perturbation de la vie du sol - Problème d'érosion - Charges de mécanisation	- Maîtrise des adventices parfois difficile : nécessite plusieurs passages	- Maîtrise des adventices difficiles : utilisation de glyphosate pour contrôler les graminés - Diminution des rendements les premières années
	Moins adapté sur les sols caillouteux		Moins adaptés sur sols tassés qui drainent lentement	

► 4.3. AMENDEMENT

4.3.1. Apport d'amendements basiques

Dans les sols naturellement **acides** (roche mère non calcaire), la **correction du pH** eau et son maintien dans un intervalle de **6 à 6,5**, est un préalable indispensable à tout autre levier agissant sur la fertilité du sol. Un pH très acide entraîne une **solubilisation de l'aluminium** sous une forme toxique assimilable par les plantes.

L'apport d'un **amendement basique**, en augmentant le pH eau du sol, élimine ce risque de toxicité aluminique et agit sur la composition chimique de la solution du sol :

- il améliore la **disponibilité des éléments minéraux** pour les plantes,
- il favorise également le **développement et l'activité des organismes vivants** du sol, en particulier des bactéries, des champignons et des vers de terre.

Cette activité augmente la vitesse de décomposition de la MO et sa minéralisation procurant ainsi plus **d'éléments nutritifs** pour la plante.

4.3.2. Apport de MAFOR

Lorsqu'elles sont utilisées à bon escient, les MAFOR sont susceptibles de **favoriser l'ensemble des piliers de la fertilité** des sols. Elles agissent sur la structuration du sol par l'agrégation des **argiles** et de **l'humus**. Par cette action, les MAFOR améliorent la perméabilité de la surface du sol, l'infiltration de l'eau et le ressuyage après une pluie. Un autre effet des MAFOR est l'**augmentation du volume d'eau** retenu par la réserve utile du sol.

Chaque année **1 à 2% des MO du sol se minéralisent** et libèrent de l'azote, du soufre et du phosphore sous forme d'éléments minéraux solubles disponibles pour les plantes. Les MO font donc office de **réserve à long terme** pour ces éléments dans le sol. Elles fournissent également la **nourriture** aux organismes vivants du sol. Le carbone organique constitue la source d'énergie pour la plupart des microorganismes du sol (champignons et bactéries). Chaque année, une petite part du stock de MO disparaît du fait de cette activité biologique et des apports sont nécessaires pour **maintenir le stock de MO voire pour l'augmenter**.

L'apport régulier d'amendements organiques tels que les fumiers, composts et toute MAFOR contribue à l'entrée de MO dans le sol. Afin de nourrir le sol et ses organismes, l'apport de **MAFOR « actives »** est à privilégier (PRO non compostés). A l'inverse, l'apport de MAFOR stabilisées comme les composts participe à la préservation du sol (structure, fonctionnement hydrique). De même, l'introduction de couverts végétaux en interculture contribue de façon significative à l'apport de MO fraîche et de carbone organique dans les sols.

4.3.3. Apport d'éléments fertilisants

L'apport d'éléments fertilisants permet de satisfaire les **besoins nutritionnels** des plantes en complétant l'offre du sol en éléments minéraux et en améliorant sa fertilité. Le raisonnement sur les éléments nutritifs tient compte des **spécificités** liées à leur cycle. Ainsi, l'azote et le soufre, éléments mobiles dans le sol à l'état minéral se raisonnent sur **la durée d'une culture** ou d'une partie de son cycle, alors que la fertilisation pour le phosphore, le potassium et le magnésium se raisonne sur un **temps long**.

Il existe deux catégories de matières fertilisantes : les amendements **organiques** qui visent surtout à améliorer la structure du sol et ses propriétés chimiques de base et les **engrais** qui apportent les nutriments absents dans le sol ou épuisés par les cultures.

Certaines MAFOR agissent **à la fois comme amendement organique et comme engrais** tels que les effluents d'élevage. Ainsi avant d'apporter des engrais minéraux ou amendements du commerce, il est important de bien valoriser ces effluents qui sont riches en éléments **fertilisants** et en **MO**.



À RETENIR

Le sol est un **milieu vivant**, où le patrimoine biologique joue un rôle essentiel dans la **minéralisation**, la **structuration** et la **stabilité** du sol, la régulation des **pathogènes** et la **dépollution**. Les **micro-organismes** des sols remplissent l'ensemble de ces fonctions. Leur abondance et leur diversité sont aujourd'hui considérées comme des indicateurs de la **qualité** des sols. Il faut donc veiller à **préserver** de hauts niveaux de biomasse et de biodiversité des sols, notamment en adoptant les **pratiques agricoles adéquates**.



Sources et références bibliographiques

- 1) CALVET Raoul, 2013, *Le sol*, 2^e éd.
- 2) DUPRARQUE A, RIGALLE P, 2011 : *Composition des MO et turn over ; Rôles et fonctions des MO*, actes du colloque « Gestion de l'état organique des sols », 27 janvier 2011, Agrotransfert.
- 3) Agro-transfert, 2017, *Guide méthodique du mini-profil 3D*
- 4) SALDUCCI X., 2011: *Diagnostic de la fertilité biologique des sols et gestion de la MO : Concepts –méthodes-applications ...une nouvelle génération d'analyse*, présentation Celesta-Lab au groupe technique MO des chambres d'agriculture du LR, 22 juillet 2010, Celesta-Lab.
- 5) Gebhardt et al., 1985, Conservation Tillage



Pour en savoir plus...

- DELAUNOIS A., 2013 : Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols, chambre d'agriculture du Tarn
- DUCERF G. THIRY C., 2003 : les plantes bio-indicatrices, guide de diagnostic des sols



LES PRINCIPALES MAFOR EN OCCITANIE

Les MAFOR employées en agriculture dans la région ont différentes origines : agricole, urbaine et d'autres inclassables dans ces deux catégories. Ces matières peuvent être utilisées brutes ou transformées (par compostage, méthanisation...), seules ou en mélange.

1. LES PRINCIPALES MAFOR D'ORIGINE AGRICOLE

Ces MAFOR sont issues des exploitations agricoles mais aussi des metteurs en marché et des industries agro-alimentaires (IAA) :

- distilleries et caves,
- moulins,
- producteurs et/ou entrepreneurs de la mise en marché des fruits et légumes (MIN, coopératives, expéditeurs...),
- conserveries,
- fromageries ou laiteries...

Dans la partie sud de la région, les volumes principaux de MAFOR disponibles pour l'épandage sont issus des IAA, majoritairement des distilleries.

Dans les départements d'altitude tournés vers l'élevage, les volumes de MAFOR disponibles pour l'épandage sont majoritairement issus des exploitations agricoles.

Le choix a été fait de présenter ces différentes MAFOR par filière : élevage, viticulture et fruits & légumes.

► 1.1. LES MAFOR ISSUES DE LA FILIÈRE ÉLEVAGE

• Les effluents bruts

Les effluents d'élevage regroupent les **fumiers** (bovins, caprins, porcins, ovins, équins, avicoles), les **lisiers** (de porcs, canards, bovins, veaux) et les **fientes** (de volailles).

L'élevage extensif domine en région Occitanie. Les effluents d'élevage sont souvent utilisés directement par l'exploitation elle-même, alors que les centres équestres n'utilisent pas la totalité de leurs effluents et peuvent avoir des difficultés à établir une filière. Les effluents d'élevage sont une source d'éléments fertilisants et de matière organique nécessaires au sol et aux cultures. Bien les valoriser permet de faire des **économies d'intrants** tout en respectant l'environnement.

Les effluents d'élevage peuvent être épandus en **frais, vieillis au champ ou compostés avant épandage**.

- **Le compost d'effluents d'élevage¹**

Le compostage est la **décomposition biologique** de la matière organique par des micro-organismes naturellement présents dans le fumier en conditions aérobies. Il permet d'obtenir une MAFOR riche en matière humique, stable, désodorisé et correctement hygiénisé (destruction des pathogènes, des graines d'adventices et donc diminution du risque sanitaire et des problèmes d'appétence). Le compostage du fumier permet d'obtenir une MAFOR **homogène épandable en toute saison** et de réduire de 20 à 50% les volumes à épandre. C'est un excellent engrais de fond qui contient en majorité du phosphore (P₂O₅) et du potassium (K₂O) et qui permet d'**améliorer la structure et la qualité** des sols.

- **Le fumier de plaquettes forestières²**

Certains éleveurs se tournent vers l'utilisation de plaquettes de bois comme alternative intéressante pour **limiter la quantité de paille consommée**. Ces fumiers de plaquettes sont majoritairement compostés pour en améliorer la décomposition. Ils sont souvent utilisés directement par l'exploitation elle-même. Ils ont un effet **d'amendement** et permettent l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol grâce à leur **matière organique stable**.

▶ 1.2. LES MAFOR ISSUES D'IAA

- **Les sous-produits de laiteries et fromageries**

Les sites de transformations laitières génèrent d'importants volumes d'effluents **chargés en matière organique**.

Les eaux issues du lavage des laiteries sont appelées « **eaux blanches** ». Elles peuvent contenir des résidus de détergents. Elles représentent 2,5 fois le volume de lait.

Le « **petit-lait** » est le nom donné au lactosérum qui est un coproduit laitier qui résulte de la fabrication du fromage. C'est la partie liquide extraite du caillé. Le petit-lait représente 80 à 90% du volume initial du lait utilisé pour l'élaboration du fromage. Il est aqueux, translucide et se caractérise par une couleur jaune verdâtre.

Pour traiter les eaux usées de l'industrie laitière, les sites de transformation sont généralement dotés d'une station de traitement. Les boues issues de ces stations d'épuration sont en majeure partie épandues, brutes ou après un prétraitement, dans le cadre d'un plan d'épandage. En effet, les laiteries sont généralement situées en zones rurales et les volumes de boues sont souvent compatibles avec les surfaces agricoles disponibles. De plus, leur faible teneur en nitrates, en métaux et autres micropolluants est favorable à l'épandage³.

▶ 1.3. LES MAFOR ISSUES DE LA FILIÈRE VITI-VINICOLE

1.3.1. Les déchets viticoles⁴

Les **sarments de taille des vignes** sont le principal déchet de culture des exploitations viticoles. La restitution au sol des sarments constitue un moyen de compenser annuellement près de la **moitié des pertes en humus** par minéralisation et des exportations de la vigne, contribuant ainsi à entretenir l'état de fertilité des sols. Dans cette optique, le **broyage** des sarments à la parcelle s'avère être la solution la plus simple et la moins coûteuse à mettre en œuvre. Le fait de broyer facilite leur incorporation au sol et optimise leur effet fertilisant. La restitution de matière organique par les sarments est de l'ordre de 500 kg par ha et par an, ce qui représente 45 % des besoins annuels de la vigne. Cette opération de broyage permet un **gain de temps** à la taille estimé à 10 % par rapport au brûlage.

Enfin, à l'aide d'investissements plus lourds, la mise en place d'un atelier de **compostage** des sarments peut offrir des perspectives particulièrement intéressantes et permettre en même temps la valorisation agronomique des autres sous-produits de l'exploitation et le traitement des effluents viticoles.

1.3.2. Les effluents de caves⁵

L'activité de vinification génère la production **d'effluents**, terme utilisé pour caractériser l'ensemble des rejets liés à la transformation du raisin en vin. Les effluents résultent des indispensables opérations de nettoyage au sein des installations viticoles. Chargés en matière organique, leur dégradation s'accompagne d'une forte **consommation d'oxygène** pouvant provoquer l'asphyxie du milieu aquatique s'ils sont directement rejetés et entraîner jusqu'à la destruction de la faune piscicole. C'est pour cette raison que le rejet direct des effluents viticoles au milieu naturel sans traitement préalable est strictement interdit. La réglementation impose à toutes les installations viticoles, quel que soit leur volume de production, de disposer d'une **solution de traitement** de leurs effluents.

- **Origine**

Les effluents de cave contiennent à la fois des parties **insolubles**, comme les débris végétaux, terres de filtration, tartres, levures, microorganismes et aussi des substances **solubles**, comme les sucres, acides organiques, alcool, esters, polyphénols, glycérol, levures, protéines... Les composants du raisin, du moût, ou du vin ainsi que les **produits de détartrage et de nettoyage** peuvent être une source de **pollution**.

La production d'effluents viticole est **saisonnière**. Tout au long de la campagne de vinification, c'est-à-dire de la réception des raisins à la mise en bouteille, plusieurs étapes plus ou moins génératrices d'effluents aux caractéristiques très différentes peuvent être identifiées. La plupart du temps tous ces effluents sont dirigés vers le même système de collecte et de traitement.

Évaluer le niveau moyen de rejet réel d'une cave viticole est un **exercice délicat**, les caractériser l'est tout autant. Chaque cave adopte un comportement spécifique vis à vis de sa consommation d'eau, de ses méthodes de vinification, ses exigences de nettoyage, l'importance de la cave, son niveau d'équipement, la nature de ses équipements, la recherche d'économie d'eau par le responsable, etc.

- **Composition**

De manière générale, les effluents viticoles sont **acides** (pH de 4 à 6) sauf en période de détartrage. Cette acidité d'origine organique reste peu préjudiciable pour les sols dans le cas d'apports raisonnés. Ils sont plutôt riches en **potassium** et beaucoup moins riches en azote et en phosphore.

Leur charge organique est élevée et est très variable selon l'activité et le fonctionnement des caves. C'est pendant les vendanges qu'elle est la plus élevée. À titre d'exemple, un effluent viticole équivaut 10 à 30 fois à un effluent domestique pour la charge organique. Elle diminue ensuite au fur à mesure des soutirages. L'intérêt agronomique des effluents sera la **brève stimulation de la vie microbienne** et l'apport en potassium.

1.3.3. Les boues de caves

Les structures viticoles, distilleries comprises, lorsqu'elles sont reliées à des **bassins d'évaporation** ou à des **stations d'épuration** pour traiter leurs effluents génèrent des boues. Elles peuvent être **épanchées**. Pour les bassins d'évaporation, le curage des boues se fait tous les 10 à 15 ans. En revanche, pour certaines stations d'épuration selon le mode de fonctionnement, les extractions de boues peuvent être annuelles.

1.3.4. Les biodéchets de distilleries⁶

La vinification engendre des **résidus solides** (marcs de raisins) et liquides (lies de vin et bourbes), qui sont **distillés**.

Il y a plus de 100 ans, les distilleries vinicoles ont été créées en lien avec la filière vitivinicole afin d'éviter le sur-pressurage des raisins et la filtration excessive des lies de vin. En effet, la distillation obligatoire des sous-produits vinicoles répond à l'enjeu d'amélioration de la qualité des vins. Depuis plusieurs années, des **enjeux environnementaux** sont venus compléter les enjeux qualitatifs : la distillation des sous-produits vinicoles assure aujourd'hui le rôle d'élimination de la charge polluante des marcs de raisins et des lies de vin.

Cette mesure de distillation des biodéchets contribue effectivement à protéger l'environnement puisqu'elle empêche de libérer dans le milieu naturel des sous-produits ayant **une forte charge organique et de forte teneur en alcool**.

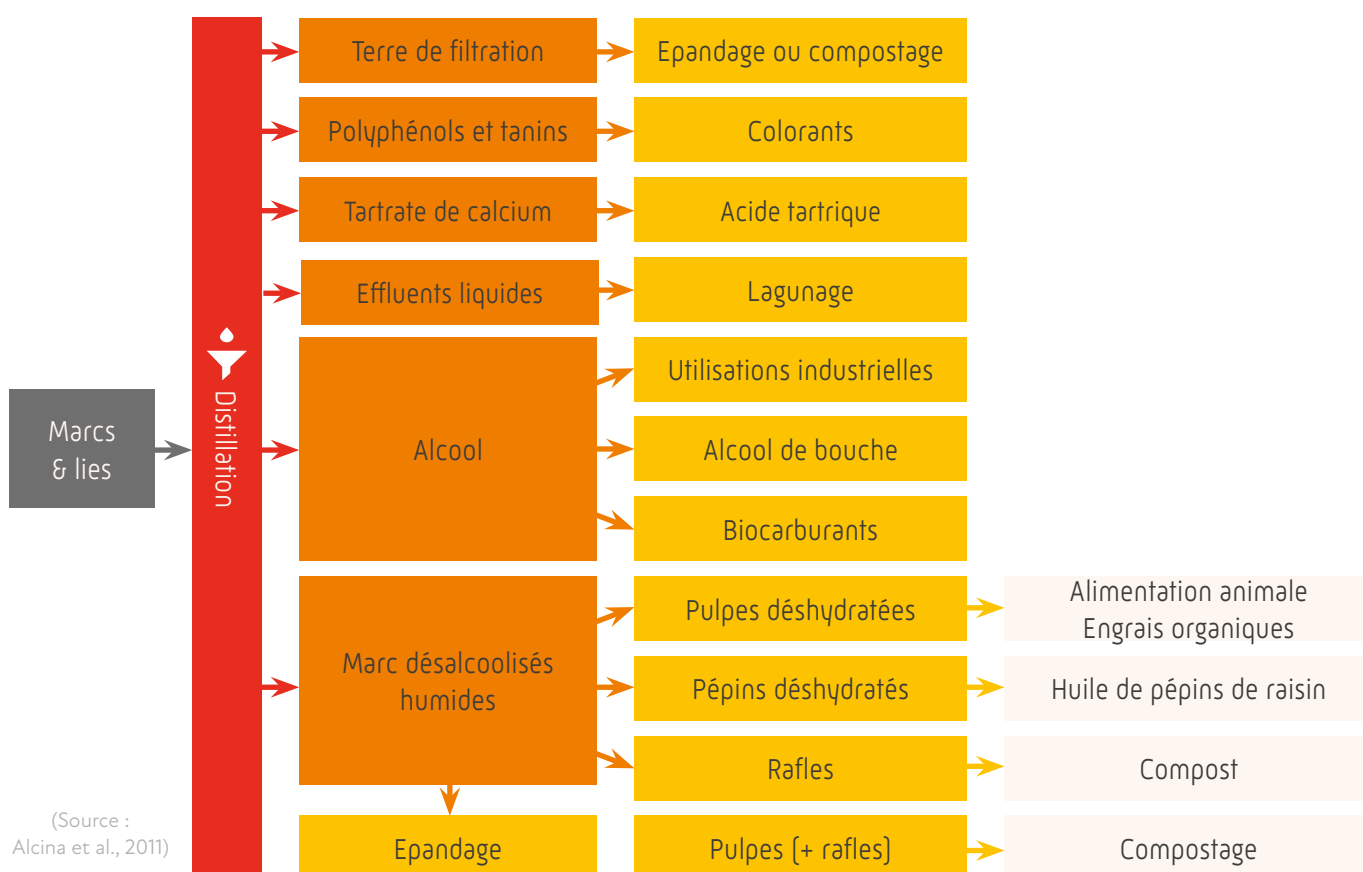
Au moment des vendanges, les distilleries collectent les marcs de raisins sur une période d'un mois et demi à deux mois. La collecte des lies de vin (et des vins) s'effectue tout au long de l'année.

Les distilleries qui traitent les marcs et lies génèrent les biodéchets suivants (voir Figure 11) utilisables en agriculture :

- **marcs bruts** (désalcoolisés humides)
- **pulpes sèches**
- **composts de marcs** (et lies)
- **terres de décantation** (ou « **boues sèches d'évaporation** ») issues de lagunage. Elles peuvent être mélangées avec le marc brut pour être compostés ou épandus directement.

La plus grande partie des biodéchets sont repris par les apporteurs de marcs à la distillerie. Les terres de filtration ne sont pas examinées dans le présent document.

FIGURE 11/ Schéma d'organisation d'une distillerie



Les distilleries valorisent les marcs, les lies, les bourbes et les vins en différents coproduits chaque année : pépins de raisin, engrais et amendements organiques normés, alcools, gel hydroalcoolique, tartrate de chaux... qui servent de matières premières dans différents secteurs : l'agriculture et la viticulture, l'agroalimentaire, l'industrie (cosmétique, chimique) et l'énergie.

Ces industries sont présentes sur plusieurs zones viticoles régionales (voir Figure 12). Le plus grand nombre d'entre elles se situent sur le **Parc méditerranéen** ainsi que dans le **Gers**. À noter que la production d'Armagnac se fait dans des alambics qui se retrouvent sous la rubrique distillerie.

FIGURE 12/ Les distilleries régionales en ICPE

Distilleries en fonctionnement en Occitanie au 2 juin 2020



■ Distilleries □ Limite de département

Zoom sur le Gers



Sources :
 - Fond IGN
 - Limites administratives AdminExpress IGN 02/2020
 - Distilleries : base de données des installations classées au 02/06/2020

(Source : DREAL Occitanie, 2020)

► 1.4. ISSUES DE LA FILIÈRE FRUITS ET LÉGUMES

1.4.1. Les déchets d'exploitations

Les principales MAFOR disponibles sont : les **écarts de tri** (fruits et légumes), les **fanés** et **déchets de légumes** et les **substrats usagés**.

Les substrats sont issus des serres hors-sol (supports des cultures hors-sol), localisées majoritairement dans les Pyrénées-Orientales⁷. Ces substrats sont majoritairement à base de fibres de coco. Une fois usagés, ils sont très souvent épandus sur l'exploitation en plein champ.

1.4.2. Les déchets des producteurs et/ou entrepreneurs de la mise en marché des fruits & légumes

Les principales MAFOR disponibles sont les déchets issus des **MIN** (à Perpignan, Montpellier et Toulouse), des **ports** (Port-Vendres et Sète), des entreprises de **conditionnement**, des industries de la **quatrième gamme** ou des **coopératives** (retraits et écarts de tri).

Les gisements sont importants mais méconnus (quantitatif, qualitatif). Les débouchés sont **l'épandage** (bruts ou après transformation par compostage ou méthanisation) ou **l'alimentation animale**.

1.4.3. Les déchets d'IAA

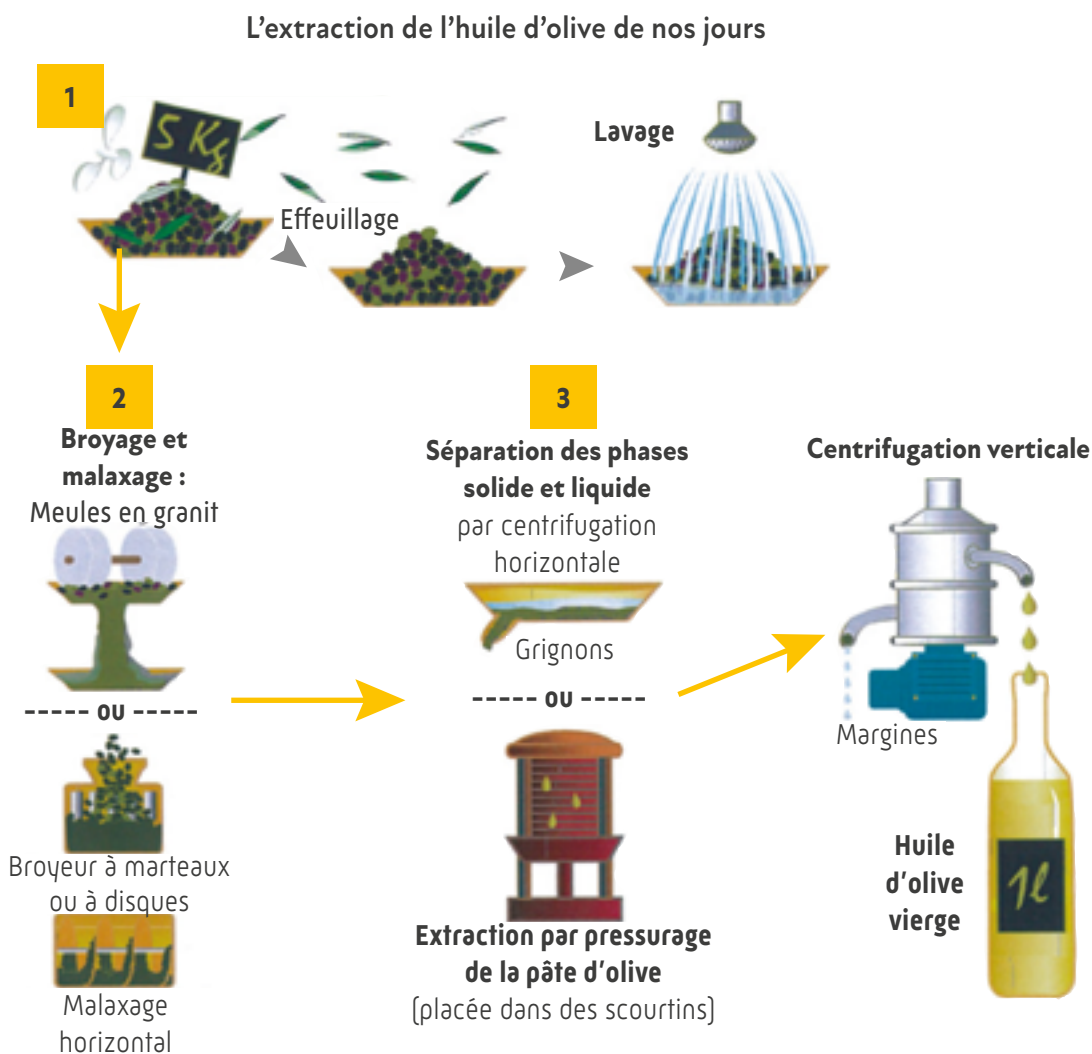
- **Les biodéchets de moulins oléicoles**

Les moulins produisent deux principales MAFOR :

- > Les grignons (noyau + pulpe + peau), épandus soit bruts, soit après compostage. Ils sont également utilisés en alimentation animale.
- > Les margines (provenant des eaux utilisées lors de l'extraction de l'huile), épandues brutes.

Toutefois, peu de volumes sont disponibles, la majorité des grignons et margines étant valorisée par les coopérateurs des moulins.

FIGURE 13/ Processus de production de margines et grignons



Il faut environ 5 kg d'olives pour 1 litre d'huile d'olive

(Source : Afidol, 2011)

- **Les effluents de conserveries**

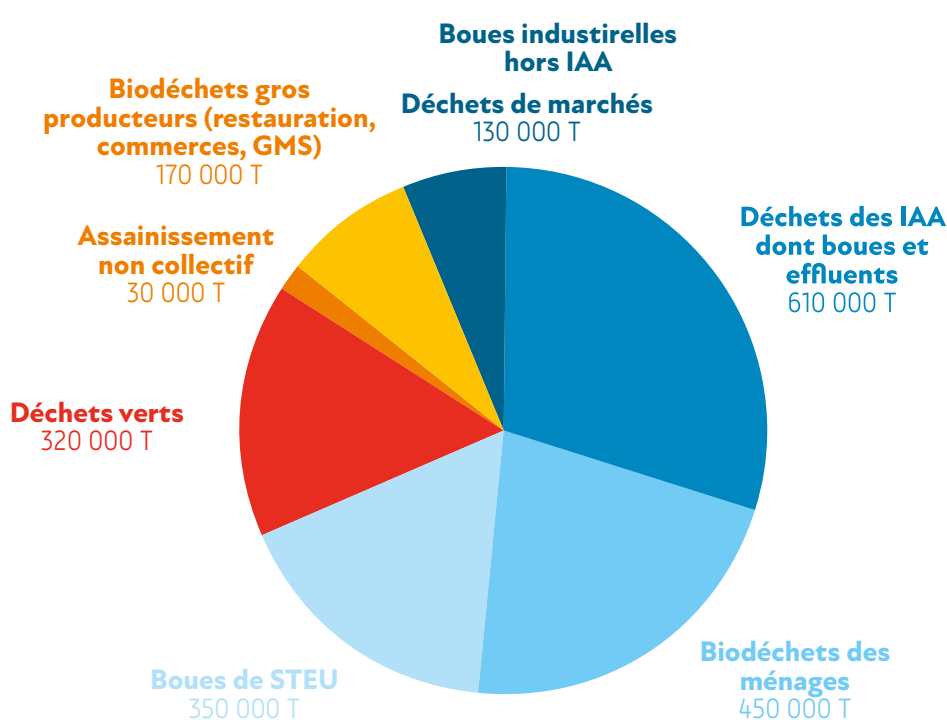
Les activités de production de **fruits au sirop, compotes et confitures** génèrent des volumes d'effluent importants. Il s'agit des eaux résiduelles issues des différentes étapes de transformation des fruits (lavage, transport par canaux de manutention, blanchiment, refroidissement). Ces eaux sont chargées en différents **éléments solides** et en **éléments fertilisants**.

2. LES MATIÈRES NON AGRICOLES

Les matières d'origine non agricole utilisables en agriculture font référence aux **déchets ménagers et assimilés** et les déchets de l'assainissement non dangereux de nature organique, c'est-à-dire **biodégradables**.

Elles proviennent des déchets de la **collectivité**, des déchets des **ménages** et des déchets **industriels**. En 2015, le gisement de déchets organiques en Occitanie est estimé à **2 millions de tonnes**, hors gisement de déchets bois.

FIGURE 14/ Répartition du gisement des déchets organiques en Occitanie



(Source : PRDGD Occitanie, 2019)

Les principales matières utilisées en agriculture dans cette catégorie sont les biodéchets, les déchets verts, les boues de stations d'épuration ainsi que les composts et les digestats élaborés à partir de ces matières premières.

► 2.1. LES MATIÈRES ISSUES D'ORDURES MÉNAGÈRES

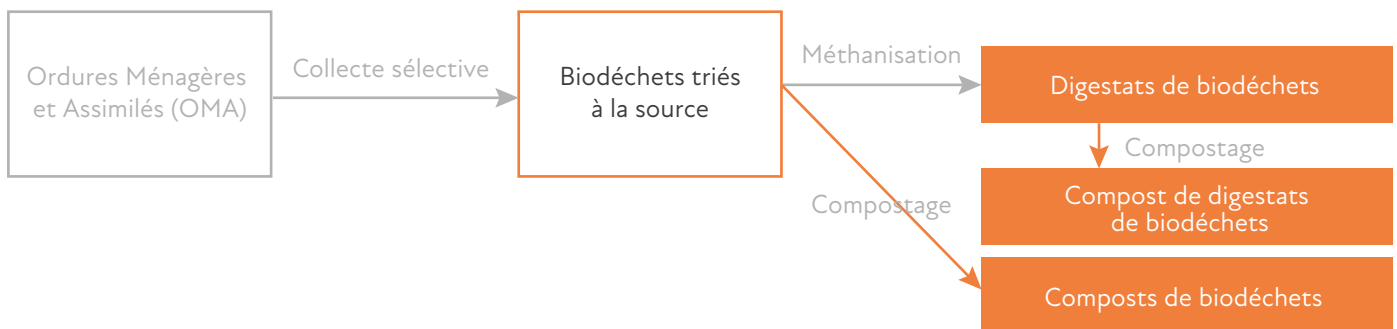
En 2015, les Ordures Ménagères Résiduelles (OMR) représentaient plus **1,6 millions de tonnes** en Occitanie (source : PRPGD Occitanie, 2019).

Les biodéchets des OMR, triés à la source, peuvent être **compostés** ou **méthanisés** et **valorisés** sur les parcelles agricoles (cf. Figure 15).

Encore marginaux, le compostage et la méthanisation des biodéchets triés à la source sont en passe de fortement **se développer d'ici 2025**, sous l'impulsion de la **Loi sur la Transition Énergétique pour la Croissance Verte**⁸ et de son application dans le PRPGD Occitanie.

À noter que le PRPD Occitanie fixe un **objectif de réduction** de la part des biodéchets dans les OMR de 50% en 2025 et 61% en 2031.

FIGURE 15/ Processus d'élaboration des différents composts issus des OMA



Les caractéristiques agronomiques de ces différentes matières dépendent des gisements qui les ont constitués, des mélanges effectués et de la saisonnalité. C'est pourquoi il est difficile de parler d'un type de compost ou de digestat de biodéchets. Il faut toujours **se fier à l'analyse** fournie par le producteur de MAFOR.

En 2017, la région Occitanie comptait **quatre installations de compostage d'OMA** et **quatre installations de méthanisation d'OMA**.

Qu'est-ce qu'un biodéchet ?

L'**article R541-8 code de l'environnement** définit un biodéchet comme « tout déchet non dangereux biodégradable de jardin ou de parc, tout déchet non dangereux alimentaire ou de cuisine issu notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente au détail, ainsi que tout déchet comparable provenant des établissements de production ou de transformation de denrées alimentaires ».

Attention, un grand nombre de MAFOR sont abusivement appelés compost de biodéchets : **demandez l'origine des matières premières**.

Exemple : un compost de déchets verts et de déchets de salades issues de la 4^{ème} gamme est un compost de biodéchets au même titre qu'un compost de biodéchets issus d'ordures ménagères.

► 2.2 LES DÉCHETS VERTS ET LEURS COMPOSTS

Ces résidus végétaux sont issus de l'entretien et du renouvellement des **espaces verts publics et privés**. La composition des déchets verts broyés, et donc leur valeur amendante, **varie énormément** notamment selon la **saison**.

2.2.1. Les broyats de déchets verts

L'utilisation des déchets verts est différente **selon les départements**. Dans la plupart des situations, les déchets verts servent de co-substrat pour composter en premier lieu les boues de stations d'épuration, mais aussi la FFOM, les biodéchets et les digestats.

Avec le **développement de l'économie circulaire**, une partie des gisements de déchets verts est de plus en plus proposée sous forme **broyée brute non compostée**, en **amendement organique** (avec enfouissement) ou en **mulch** (importante quantité à l'hectare sans enfouissement). Cette filière en développement, assimilée à tort à du compostage à la ferme, reste mal encadrée. Si les effets peuvent être vertueux (attention néanmoins aux problèmes de faim d'azote), ils dépendent beaucoup de la qualité initiale des broyats. Une attention particulière doit être portée sur les **inertes** (plastiques) et **l'hétérogénéité** de composition de ces broyats.

Les déchets verts broyés bruts **ne sont pas du Bois Raméal Fragmenté** ou BRF. Ils ont un profil agronomique différent.

PHOTO 2/ BRF et broyat de déchets verts

Broyat déchets verts



Crédit Photo : Chambre d'Agriculture du Roussillon

BRF



Crédit Photo : Chambre d'agriculture du Gard (Y.NOUET)

2.2.2. Le BRF

Le BRF (bois jeune riche en lignine) est défini comme étant du **bois issu de feuillus d'un diamètre inférieur à 7,5 cm**. Dans les collectivités et les sociétés privées, il est composé de **platane, chêne, peuplier, saule**. Les thuyas et lauriers sont à éviter.

Les quantités disponibles de BRF sont **faibles et concentrées dans le temps**, majoritairement au printemps et à l'automne. Ses utilisations possibles sont le paillage sur les cultures pérennes pour un effet **herbicide**, ou l'incorporation pour **stimuler la microbiologie** du sol.

2.2.3. Les composts de déchets verts

Bien que majoritairement utilisés comme structurant pour composter d'autres **matières fermentescibles** (boues, biodéchets, etc.), certaines plates-formes compostent les déchets verts seuls pour les vendre en compost de déchets verts « purs ». En 2017, une **cinquantaine d'installations** produisaient du compost de déchets verts en Occitanie (Source : PRPGD Occitanie, 2019) (voir Figure 21).

La valeur agronomique des composts de déchets verts est très **dépendante de la saisonnalité** qui influe sur le type de déchets verts compostés (tonte de pelouse, taille d'arbres, etc.) et sur leur qualité (présence ou absence d'inertes).

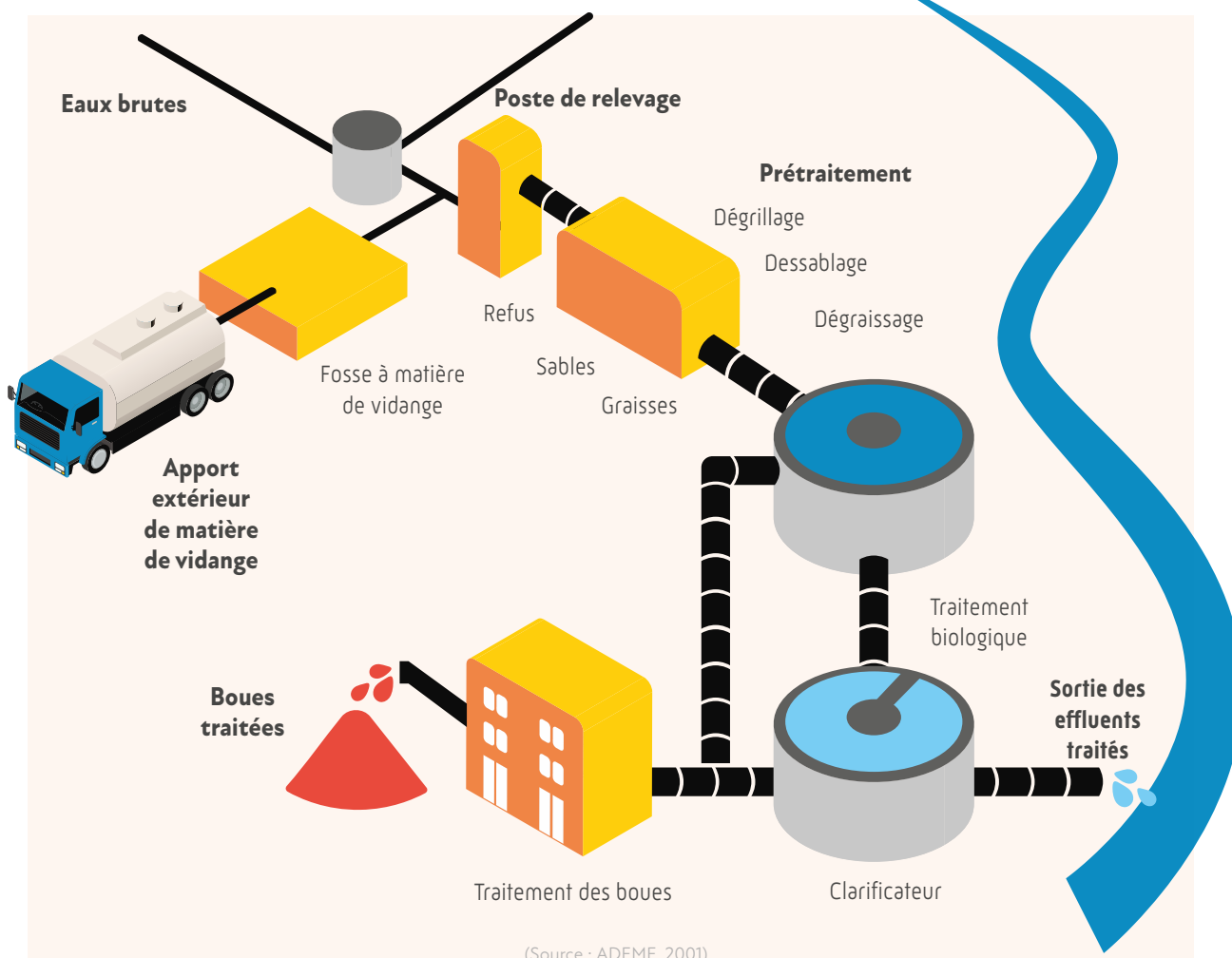
Et les refus de criblage ?

À l'issue de la phase de maturation, les composts sont criblés afin de retirer les éléments grossiers ou indésirables. Il en résulte la production d'une **quantité non négligeable de refus de criblage**. Une partie de ces refus est **réinjectée** dans le procédé de compostage et fait partie intégrante de la recette. La partie non valorisable (inertes, plastiques, etc.) est **enfouie** en **Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND)** ou incinérée. Certaines plateformes de compostage valorisent aussi le restant du refus de criblage de compost de déchets verts en le vendant comme paillage, en garantissant une absence totale d'éléments inertes.

► 2.3. LES BOUES DE STATIONS D'ÉPURATION URBAINES ET LEURS COMPOSTS

Les boues de station d'épuration urbaines (STEU) sont un déchet municipal issu du traitement des eaux usées.

FIGURE 16/ Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées



En 2014, le gisement régional de boues était de l'ordre de **93 000 tonnes de matière sèche**, soit environ 350 000 tonnes brutes sur les 1 237 STEU productrices de boues en Occitanie (9 millions d'équivalent habitants en capacité nominale) (Source : PRPGD Occitanie, 2019).

2.3.1. Les boues « brutes »

Il existe différents **procédés de traitements des eaux usées** :

- boues activées,
- lagunages,
- décanteur,
- filtres plantés de roseaux, etc.

Et différents procédés de **traitement des boues** :

- séchage thermique,
- filtre à bandes,
- chaulage,
- lits plantés de roseaux, etc.

Desquels sont issues différents types de boues que l'on peut classer en trois catégories : « **liquides** », « **pâteuses** » ou « **sèches** ».

FIGURE 17/ Trois catégories de boues



Du traitement dépendra aussi leurs **caractéristiques agronomiques** (ex : le traitement de l'eau par déphosphatation engendre une plus forte teneur des boues en P_2O_5).

Selon le PRPGD Occitanie, la valorisation des 350 000 tonnes de matière brute de boues se répartit comme suit :

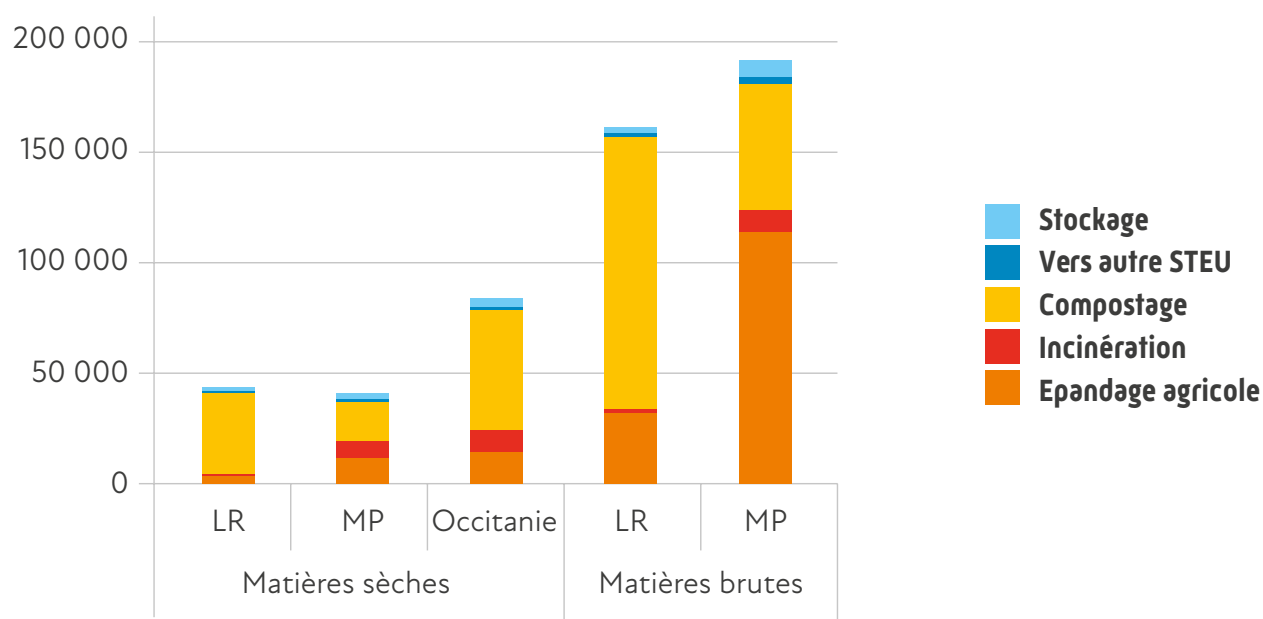
- **18 % en épandage direct** en agriculture, encadré par un plan d'épandage et un suivi agronomique des parcelles ;
- **60% en co-compostage** avec des déchets verts ;

- **20% en méthanisation.** 5 stations de traitement des eaux usées sont équipées d'unité de méthanisation et 4 étaient en projet au moment de la rédaction du plan. Le digestat produit est ensuite valorisé (voir paragraphe 3.2.) :

- **en épandage direct** en agriculture (encadré par un plan d'épandage et un suivi agronomique des parcelles),
- **en co-compostage** avec des déchets verts, pour une part marginale en incinération ou en stockage (seules les boues non valorisables en agriculture peuvent être enfouies),
- ou **en incinération.**

Le devenir des boues de STEU en Occitanie est illustré sur la *Figure 18*.

FIGURE 18/ Production et destination de boues de STEU (tonnes)



(Source : PRPGD Occitanie, 2016)

Depuis les années 2010, l'épandage de boues brutes diminue au profit d'une **valorisation par compostage** (normé ou non), fortement **incitée par les pouvoirs publics**. Le compostage des boues avec des déchets verts a montré toute sa **pertinence durant la crise du COVID-19** en permettant d'hygiéniser les boues de STEU et de les rendre compatibles avec un épandage agricole.

Une forte **disparité** existe entre les deux anciennes régions qui constituent la région Occitanie : l'épandage des boues brutes est devenu très **minoritaire sur l'arc Méditerranéen** (<10%) au profit du compostage, alors qu'il reste **significatif sur le reste de la région** dans des secteurs d'élevage aux surfaces suffisantes pour les réaliser et dépourvues d'unité de compostage ou de méthanisation.

L'épandage est en effet la solution la **moins coûteuse** pour les collectivités et elle s'inscrit dans un schéma **d'économie circulaire** (ce qui est produit par la population est réutilisé localement).

2.3.2. Les composts de boues

Les boues brutes sont de plus en plus souvent compostées avec des déchets verts. Le **compost** bénéficie d'une meilleure réputation, il est plus facilement **manipulable**, il dégage **peu d'odeurs** et son hygiénisation due au process garantit une **meilleure qualité sanitaire**.

En 2017, la région Occitanie comptait **28 plateformes** produisant du compost de boues (voir Figure 19).

FIGURE 19/ Installations de compostage des déchets organiques en Occitanie en 2017



(Source : PRPGD Occitanie)

3. LES SPÉCIALITÉS DE L'AGROFOURNITURE

Des distributeurs de l'agrofourmiture proposent une large gamme **d'engrais ou amendements organiques**. Le guide (tome II) présente des fiches techniques sur quelques-unes de ces matières utilisées notamment en Occitanie mais n'a pas vocation à être exhaustif. Le choix s'est porté sur les plus couramment utilisées en Occitanie.

4. LES DIGESTATS

Le digestat est le **résidu du processus de méthanisation** qui sert de **fertilisant** ou d'**amendement organique**. Le digestat brut peut subir une étape de séparation de phase, donnant lieu à deux types de matière :

- **digestat liquide**, considéré comme un engrais organique azoté, riche en azote (presque entièrement sous forme ammoniacale), phosphore et potasse
- **digestat solide**, considéré comme un amendement de fond.

Attention, il faut se fier à l'analyse du digestat produit sur l'unité car les caractéristiques dépendent des intrants du méthaniseur et du processus de méthanisation. Un digestat solide peut apporter des doses non négligeables d'**azote** et de **phosphore**.

Le digestat peut également subir une étape de **compostage** avant d'être épandu.

Il existe plusieurs types de méthanisation en Occitanie :

- **La méthanisation agricole** : unité portée majoritairement par un ou plusieurs exploitants agricoles et traitant des effluents, matières végétales et déchets d'origine agricole majoritairement.
- **La méthanisation industrielle** : unité portée par un industriel et traitant des déchets organiques de production interne (lactosérum, effluents viticoles).
- **La méthanisation territoriale** : unité multi-partenariale ou portée par un industriel, traitant des gisements de multiples déchets (effluents agricoles, biodéchets, déchets agroalimentaires...).
- **La méthanisation STEP** : unité localisée sur une station d'épuration, portée par la collectivité et traitant principalement des boues de stations d'épuration (STEP).

Ces unités sont réparties sur tout le territoire, comme le montre la *Figure 20*.

FIGURE 20/ Localisation des unités de méthanisation en Occitanie



(Source : ADEME, 2017)

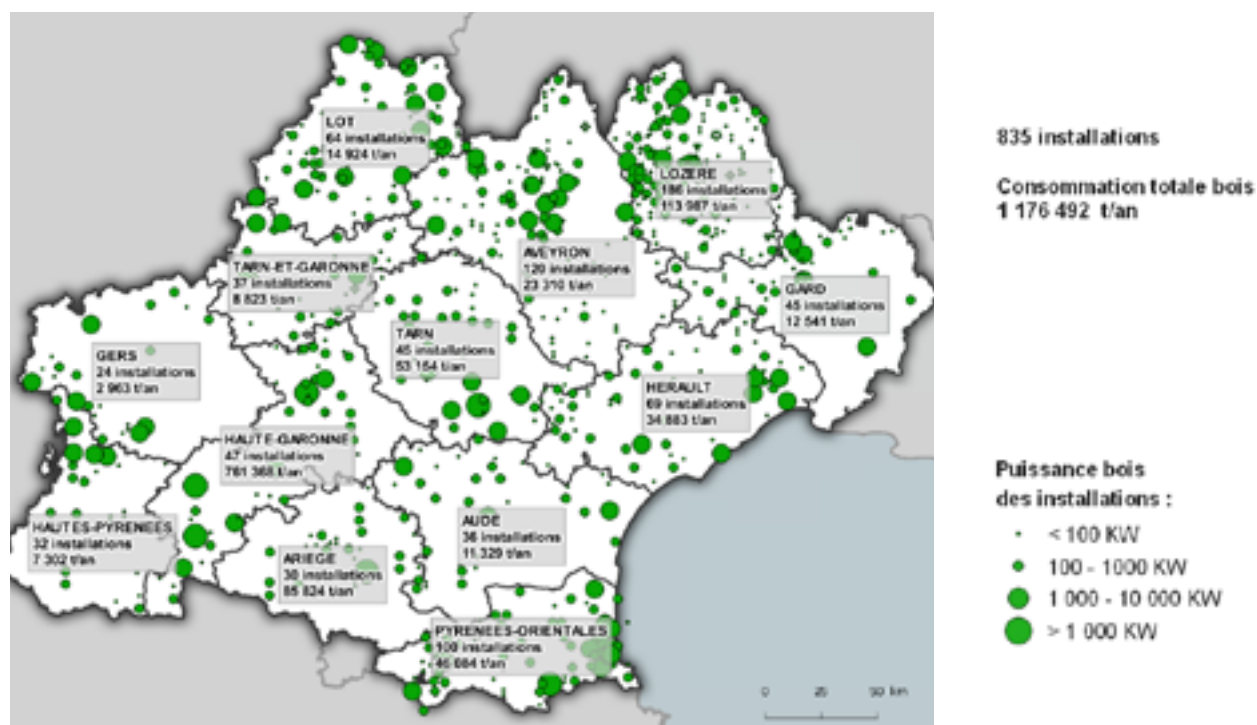
5. LES CENDRES⁹

Le développement de la filière bois énergie a conduit à une **augmentation du nombre de chaufferies utilisant du bois** comme combustible. Ces chaufferies conduisent à la production de **cendres** qui peuvent être **valorisées** en agriculture sous certaines conditions.

Tout épandage agricole de cendres doit être réalisé dans le cadre d'un plan d'épandage (sauf démarches de normalisation ou d'homologation) et respecter les seuils d'innocuité fixés par la réglementation. Le traitement ou la valorisation des cendres de bois est placé **sous la responsabilité** de leur producteur.

Les cendres ont une valeur neutralisante non négligeable et permettent de **redresser le pH** du sol. L'apport de cendres permet d'améliorer la stabilité de la structure du sol et ainsi **d'optimiser la fertilité** de la parcelle. Enfin, les cendres apportent des éléments fertilisants indispensables à la **croissance** des végétaux comme du magnésium, du phosphore et surtout du calcium et du potassium. Attention toutefois car les cendres peuvent être de composition très **variables** en fonction des types de bois utilisés.

FIGURE 21/ Localisation des chaufferies bois en Occitanie en 2016



(Source : ADEME BL, novembre 2016)

6. LES LOMBRICOMPOSTS

Les lombricomposts (ou vermicomposts) sont des amendements issus de la **digestion des matières organiques par certains vers de terre**. Il en existe plusieurs types et leurs caractéristiques agronomiques dépendent des matières premières qu'ils décomposent (biodéchets, déchets verts broyés, boues de STEU, etc.)

7. LES STRUVITES

Les boues de STEU sont riches en **phosphore** et peuvent constituer une source **alternative aux engrais minéraux** issus de ressources naturelles (mines), afin de produire des engrais phosphatés. Dans les années 2010 se sont développées des technologies permettant d'isoler le phosphore des boues et de le conditionner sous forme de struvites.

Selon le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, « les premiers essais au champ de la struvite comme fertilisant sont concluants dans certaines conditions.

Le sujet est porté au niveau de l'Afnor en vue de sa normalisation pour permettre sa mise sur le marché après évaluation de l'Anses. La struvite relève de la réglementation sur les déchets et ne peut à l'heure actuelle être commercialisée qu'à des industriels de matières fertilisantes en tant que matière première entrant dans un process de fabrication, en substitution d'une autre matière première. »¹³.

PHOTO 3/ Struvites





À RETENIR

Il existe une **grande diversité de MAFOR épandables** en agriculture.

Les effluents issus des exploitations d'élevage sont généralement utilisés sur l'exploitation donc relativement **peu disponibles sur le marché**.

Le compostage des effluents d'élevage bruts permet d'obtenir une MAFOR **riche en matière humique, stable, désodorisée** et correctement **hygiénisée**.

Le rejet direct des effluents vinicoles dans le milieu naturel sans traitement préalable est **strictement interdit**.

Les quantités et qualités des effluents de cave sont très **dépendantes** des pratiques vinicoles.

Attention aux abus de langage concernant les biodéchets et la diversité de leurs composts. Ils peuvent avoir des compositions extrêmement diversifiées : le profil agronomique du compost qui en est issu est lui aussi varié. Il est nécessaire de demander l'analyse complète de ces MAFOR pour pouvoir adapter les apports.

Le BRF et les broyats de déchets verts peuvent avoir un aspect visuel similaire mais ils ont des **profils agronomiques différents**.

Les digestats de méthanisation se présentent comme une **nouvelle source de matière organique** à disposition dans certaines exploitations. Ils présentent des valeurs et des performances diverses en fonction de leur origine et de leur utilisation.

Les cendres issues des chaufferies bois peuvent être valorisées en agriculture dans le cadre d'un plan d'épandage. Ces cendres sont généralement source de **potassium** et de **calcium** mais leurs compositions peuvent varier en fonction des types de bois utilisés.



Sources et références bibliographiques

Voir aussi :

- 1) Chambre Régionale Occitanie, *Guide du compostage à la ferme*, 2019, 80 p., <https://occitanie.chambre-agriculture.fr/agroenvironnement/agroecologie/guide-du-compostage-a-la-ferme/>
- 2) Chambre d'agriculture de Lozère, *La litière avec des plaquettes forestières : un intérêt agronomique*, septembre 2019.
- 3) Brice BOURBON, *Etude Aquarel : Gestion des effluents et des boues issus de la transformation laitière*, Projet de recherche, CNIEL/Actalia/Agences de l'eau Loire Bretagne et Seine Normandie, février 2018, 18 p.
- 4) Maxime CHRISTEN (Chambre d'Agriculture de Gironde), *Valorisation des sous-produits de la vigne : restitution au sol des sarments par broyage ou après compostage*, 28 avril 2008.
- 5) Denis BERVILLE : *La gestion des effluents vinicoles en Médoc*. Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée, n°20, Février 2002 2001. pp. 13-30.
- 6) Institut Français de la Vigne et du vin : *Marc de raisins, lies de vin et bourbes : quelle gestion des sous-produits vinicoles*, novembre 2013.
- 7) Chambre d'Agriculture du Roussillon, 2011 : *Programme d'expérimentations sur le compostage des déchets verts avec les déchets agricoles organiques ou minéraux (substrats hors-sol usagés, fruits et légumes de retrait et d'écart de tri, déchets de salades)*, avril 2011.
- 8) Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte, 2015. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/loi-transition-energetique-croissance-verte>
- 9) Mission bois énergie Lozère et Gard, *Fiches de gestion et de valorisation des cendres, Fiche 3 : Valorisation agricole des cendres de bois*, 2010.
- 10) Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, *Volet agricole de la Feuille de route pour l'économie circulaire*, 2019.



LES CRITÈRES ANALYTIQUES DES MAFOR

Pour bien utiliser une MAFOR, il faut connaître sa **composition**, bien interpréter son **comportement**, puis vérifier son **intérêt agronomique** et son **innocuité**. Qu'elle soit normée ou non, une bonne lecture de ses propriétés analysées orientera sur le choix de la MAFOR à utiliser, les quantités à apporter et les modalités d'apports.

Pour les produits normés, chaque dénomination fixe des teneurs seuils sur leur **composition** (conformité) : teneur en MO, en matières sèches (MS), rapport matière organique sur azote organique (MO/Norg), éléments majeurs... ainsi que sur leur **innocuité** : teneurs limites en éléments traces métalliques (ETM), en composés traces organiques (CTO) et en micro-organismes. Elle impose aussi des **flux maximums annuels** moyens sur 10 ans pour les ETM et les CTO qui doivent être utilisés pour déterminer la dose maximale préconisée du produit.

Afin de caractériser un produit normé, les différents types d'analyses à réaliser sont présentés dans le *Tableau 6*.

Pour les autres MAFOR (hors produits normés), ces mêmes analyses sont préconisées pour déterminer leur qualité et leur innocuité par conséquent la quantité à utiliser

1. ANALYSE DES VALEURS AGRONOMIQUES

Les MAFOR ont une double valeur agronomique :

- **Amendante** (apport de MO) profitant à la « structuration » des sols
- **Fertilisante** (apport d'éléments fertilisants minéraux et/ou organiques) profitant au développement des cultures

► 1.1. MATIÈRES SÈCHES (MS)

La teneur en MS est estimée par le rapport suivant :

MS (en %) = poids de matière sèche / poids initial brut de l'échantillon.

Par exemple, une MAFOR à 45 % de MS contient 450 kg de MS par tonne de matière brute.

On peut ainsi classer les MAFOR en trois catégories, correspondant à leur consistance :

- **liquides** (teneur en MS < 14 %), comme les lisiers, les boues d'épuration et la vinasse ;
- **pâteuses** fluides à pâteuses plastiques (14 % ≤ teneur < 35 %), comme certains fumiers, composts et boues d'épuration ;
- **solides** (teneur ≥ 35 %), comme certains composts et fumiers, les boues d'épuration solides et solides-sèches.

TABLEAU 6/ Analyses à réaliser et méthode des produits normés

	Déterminations	Méthode de préparation et d'analyse des produits
Valeur agronomique	MS MO NTK N-NO3 Nuréique pH	- - - - - NF EN 13-037
	P205 ; K20	NF EN 13-650
	CaO ; MgO [facultatif]	NF EN 13-650
Éléments traces	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn	NF EN 13-650
Composés traces organiques	7 PCB + 3 HAP	-
Micro-organismes d'intérêt sanitaire	Escherichia coli Clostridium perfringens Entérocoques Œufs d'helminthes viables Listeria monocytogene Salmonella	NF V 08-053 NF V 08-056 NF T 90-432 - NF V 08-055 NF ISO 6579 / NF V 08-052
Efficacité agronomique	Cinétique de minéralisation C & N	XP U 44-163
	Fractionnement de la matière organique et estimation de la stabilité biologique	XP U 44-462
	Détermination des éléments inertes	XP U 44-164
	Granulométrie	-

Plus les teneurs en MS et en éléments fertilisants sont élevées, plus la MAFOR est concentrée et donc plus elle est riche en éléments.

La MS est un bon indicateur pour aiguiller l'utilisateur vers **le matériel d'épandage adéquat**.

► 1.2. MATIÈRE ORGANIQUE (MO)

Une MAFOR est constituée **d'eau, de matières organiques et de matières minérales**. La méthode par perte au feu est retenue pour apprécier la teneur en MO.

La perte au feu, exprimée en **g/kg (‰)** est la perte de poids d'un échantillon en conditions sèches après calcination à 550°C, rapportée au poids initial.

Toute la « perte au feu » est **considérée comme MO**.

► 1.3. CARBONE ORGANIQUE

Le taux de carbone organique est calculé à partir de la « perte au feu ».

La formule pour le calculer est : **Taux de carbone organique (estimé) = perte au feu/2**

► 1.4. L'AZOTE (N)

On retrouve dans un bulletin d'analyse les différentes formes d'azote:

- **Azote total** (méthode Kjeldhal) : NTK
C'est l'ensemble de toutes les formes d'azote minéral et organique présentes dans un échantillon excepté les formes oxydées (nitrate).
- **Azote organique**
C'est l'azote qui est intégré à des macromolécules organiques plus ou moins complexes résultant de la décomposition des matières végétales, animales ou microbiennes.
Il n'est pas utilisable en l'état par les plantes, il doit se minéraliser. Seules les formes minérales sont assimilables par les végétaux.
- **Azote nitrique** (N-NO₃⁻)
Azote présent sous forme de nitrates (NO₃⁻), en général en faible quantité.
- **Azote ammoniacal** (N-NH₄⁺)
Azote présent sous forme de l'ion ammonium (NH₄⁺).
- **Azote uréique**
C'est une forme transitoire (NH₂)₂CO qui est transformée en azote ammoniacal sous l'effet d'une hydrolyse.
- **Azote minéral**
C'est la somme de l'azote nitrique, de l'azote ammoniacal et de l'azote uréique.

Les **pertes d'azote par volatilisation ammoniacale** lors de l'épandage de MAFOR peuvent être un facteur important de faible valorisation de l'azote épandu pour les matières avec une forte proportion de NH₄ (intérêt d'un enfouissement immédiatement après épandage).

Une partie seulement de l'azote organique qui se minéralise est à prendre en compte pour le raisonnement de **la fertilisation azotée des cultures**. Il est nécessaire d'utiliser le coefficient d'équivalence engrais minéral, ou Keq, qui est défini dans le Guide méthodologique **Calcul de la fertilisation azotée** du COMIFER. Il représente le « rapport entre la quantité d'azote apporté par un engrais minéral et la quantité d'azote total apporté par la matière qui permet la même absorption d'azote ». Les valeurs des Keq diffèrent selon les matières épandues, la culture réceptrice et la période d'épandage.

► 1.5. LE RAPPORT C/N

Le rapport C/N est le rapport entre le **carbone organique** et l'**azote total**. Ce rapport apporte une indication sur la capacité de la MAFOR à se minéraliser une fois incorporée au sol.

Le rapport C/N doit surtout être utilisé pour juger le **risque de faim d'azote*** lié à la décomposition de la MAFOR : plus le C/N est élevé, plus le processus de décomposition du carbone consommera de l'azote provenant du sol. Un C/N élevé indique une **dégradation plus lente**, exemple des fumiers compostés par rapport à un lisier au C/N plus faible.

Les MAFOR à fort C/N doivent être apportées au plus loin des **besoins en azote** de la culture (voir Tableau 7).

Le rapport C/N **ne suffit pas** à caractériser une MAFOR. L'utilisation d'indicateurs complémentaires comme les cinétiques de minéralisation du carbone et de l'azote ou les indicateurs du potentiel humigène (ISMO) sont nécessaires.

TABLEAU 7/ Exemple d'ordres de grandeur des rapports C/N de quelques Mafor

Mafor	Ordre de grandeur de rapport C/N
Fientes de volailles	6-9
Fumier bovin sur litière accumulée	16-20
Marc de raisin	20-25
Compost de déchets végétaux	15-20
Compost de MIATE	8-12
BRF	30

► 1.6. LES ÉLÉMENTS MAJEURS : P, K (MG, CA, NA)

La teneur en éléments fertilisants est variable selon les MAFOR.

Du point de vue agronomique, la valeur fertilisante des MAFOR est **équivalente à celle des engrais minéraux** pour la plupart des éléments nutritifs. C'est le cas du **potassium** et du **magnésium** car la forme minérale est dominante (coefficient d'équivalence 100%). En revanche, le phosphore se trouve sous une forme minérale mais également organique moins disponible. Ainsi, suivant le type de MAFOR, la fréquence des apports (occasionnels ou réguliers), le coefficient d'équivalence **varie de 60 à 100 %**.

► 1.7. LE POTENTIEL HYDROGÈNE (pH)

Les apports réguliers de MAFOR ont **tendance à avoir un effet alcalinisant** sur le pH du sol, cependant sans commune mesure avec les amendements calciques.

2. LES CRITÈRES D'INNOCUITÉ

Afin de prévenir des pollutions potentielles, plusieurs critères d'innocuité peuvent être analysés dans les MAFOR.

► 2.1. LES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES (ETM)

Des concentrations maximales par ETM ont été définies dans les **normes NFU 44-051, NFU 44-095, NFU 42-001, NFU 44-551**, ainsi que dans les **arrêtés sur les boues urbaines et industrielles de 1998 et de 2016** (voir chapitre 4) comme indiqué ci-dessous.

Le cuivre et le zinc sont examinés plus finement via à la fois le respect d'une teneur exprimée sur la matière sèche (MS) mais aussi sur la matière brute (MB) comme l'indique la version de la norme NFU 44-051 de décembre 2010.

Pour les boues, les valeurs seuils ne sont pas modifiées pour les ETM qu'il y ait pâturage ou non par des animaux.

Le Bore, le Cobalt et le Manganèse ne nécessitent pas un suivi réglementaire de leur teneur dans les MAFOR.

L'ensemble des textes réglementaires et normatifs imposent aussi des **seuils limites** sur les flux annuels et décennaux d'ETM. L'objectif est de **sécuriser les pratiques** en limitant les apports à court et moyen terme.

Selon les ETM, les fréquences peuvent varier. Il est donc important de **connaître le profil de la MAFOR** qui sera épandue pour fixer au mieux ses fréquences d'apport. Le plan d'épandage est ainsi un outil utile pour mettre en œuvre les épandages puisqu'il décrit l'effluent à épandre.

► 2.2. LES COMPOSÉS TRACES ORGANIQUES (CTO)

Il existe de multiples familles, mais seulement quelques-unes sont à ce jour officiellement recherchées :

- Les **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques** (HAP) sont présents dans l'environnement du fait de différents processus : la biosynthèse par des organismes vivants, les pertes à partir du transport ou de l'utilisation des carburants fossiles, la pyrolyse des MO à haute température, la combustion des charbons et pétroles. Ce dernier processus constitue la principale voie d'introduction des HAP dans l'environnement et résulte majoritairement des actions anthropiques sur les sites des cokeries et des usines à gaz.

Un certain nombre de ces composés sont cancérigènes, en particulier les 3 HAP retenus dans l'arrêté du 8/01/1998 (épandage des boues) ou dans les normes des amendements organiques :

- Benzo(a)pyrène
- Benzo(b)fluoranthène
- Fluoranthène

- Les **polychlorobiphényles** (PCB), aussi appelés biphényles polychlorés, forment une famille de 209 composés aromatiques organochlorés dérivés du biphényle (hydrocarbure aromatique polycyclique). Ils sont également cancérigènes, au même titre que les dioxines (PCDD) et furanes (PCDF) de la même famille.

Ce sont des substances huileuses ou solides à forte inertie thermique, d'où leur utilisation comme isolants électriques, dans les transformateurs comme fluide hydraulique ou comme plastifiant dans certaines résines. On les retrouve aussi dans les condensateurs, les peintures, les plastiques, les fours à micro-ondes...

Comme pour les ETM, on tiendra compte des valeurs seuils sur la somme des 7 PCB et les 3 molécules de HAP pour déterminer l'innocuité d'une MAFOR.

Les CTO sont également encadrés par les normes NF U 44-051, NF U 44-095, NF U 42-001 ainsi que la NF U 44-551 et arrêtés sur les boues urbaines et industrielles de 1998 et 2016.

Les flux sont également à suivre avec attention particulièrement pour les boues urbaines.

▶ 2.3. LES MICRO-ORGANISMES D'INTÉRÊT SANITAIRE (LES ÉLÉMENTS PATHOGÈNES)

La recherche d'agents pathogènes peut-être obligatoire et des **valeurs seuils** sont à respecter dans les MAFOR pour vérifier la conformité aux normes (amendements organiques et composts de boues) : Escherichia coli, Entérocoques, Clostridium, Salmonella, Œufs d'helminthe. Pour les MAFOR intégrant des boues, la Listeria est aussi analysée.

Remarque : La plupart des pathogènes sont détruits par les procédés de compostage (par le maintien de températures élevées notamment) correctement réalisés au moyen d'une hygiénisation effective.

▶ 2.4. LA DÉTERMINATION DES ÉLÉMENTS INERTES

Les inertes concernés au niveau des MAFOR sont le **verre**, les **métaux**, les **plastiques durs** et **textile**, les **films plastique** et le **polystyrène expansé** (PSE).

Pour l'utilisateur, ces analyses visent à réduire les risques de pollution des sols avec la MAFOR qu'il utilise.

3. LES AUTRES CRITÈRES

▶ 3.1. LA GRANULOMÉTRIE

Elle s'effectue par analyse au laboratoire après passage dans divers tamis de diamètres différents. La méthode **n'est pas normalisée**.

Plus une matière est fine, plus elle sera facilement décomposable.

La granulométrie permet de mieux appréhender les conditions optimales d'épandage (adaptation du matériel).

▶ 3.2. LA MASSE VOLUMIQUE

Il s'agit de la **masse contenue dans un volume donné**. La masse volumique permet de faire le lien entre le volume d'une MAFOR et sa masse. Cet indicateur est donc très utile car il permet de connaître pour un poids donné le volume (utile pour du transport en benne par exemple) ou inversement (pour connaître le tonnage épandu par épandeur).

4. EFFICACITÉ AGRONOMIQUE DES MAFOR

L'importance des MAFOR dans la fertilité des sols est unanimement reconnue. Elles peuvent avoir des **comportements très différents** en termes de compensation des pertes en humus.

Aussi la gestion des stocks de MO des sols implique de bien connaître les caractéristiques des matières ou produits utilisés.

► 4.1. CINÉTIQUE DE MINÉRALISATION DU CARBONE ET DE L'AZOTE

Les mesures sont réalisées en laboratoire en conditions contrôlées en suivant des procédures normalisées. Il est ainsi possible d'**estimer le potentiel de minéralisation** du carbone et de l'azote d'un amendement organique ou d'un support de culture par incubation en conditions contrôlées.

Elles affinent l'interprétation du rapport C/N.

4.1.1. La minéralisation du carbone

L'estimation du potentiel ou du coefficient de minéralisation du carbone se calcule par la **différence entre le dégagement de CO₂** d'une terre de référence et celui du **mélange de la terre de référence** avec la MAFOR utilisée.

Sur une durée de 91 jours, il permet de simuler l'effet au champ sur 12 mois.

FIGURE 22/ Exemple de résultats de cinétiques de minéralisation du carbone

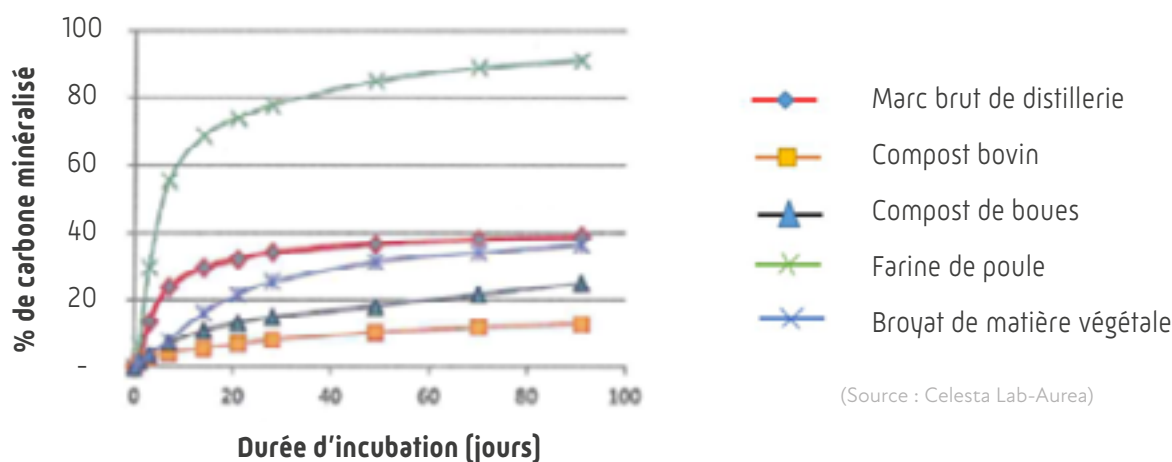


TABLEAU 8/ Interprétation des résultats d'analyse de minéralisation du carbone d'une MAFOR

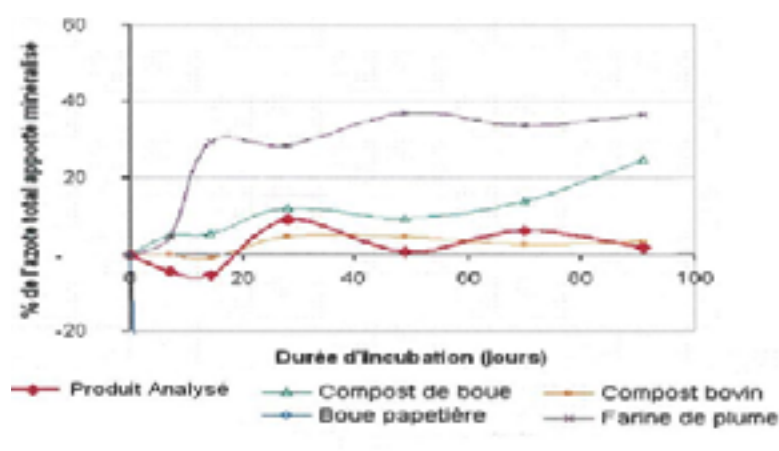
Minéralisation du carbone	<15 %	Entre 15 et 30 %	Entre 30 et 50 %	>50 %
Stabilité	Forte	Bonne	Intermédiaire	Faible
Potentiel humigène	Fort	Bon	Moyen	Faible
Effet sur la biomasse microbienne et lombricienne	Faible	Faible	Moyen	Fort
Effet sur le sol	Anti-érosion Amélioration de la CEC et de la RU	Stabilité structurale	Stabilité structurale	Peu d'effet à long terme

4.1.2. La minéralisation de l'azote organique

Le potentiel maximal ou le coefficient de minéralisation de l'azote renseigne sur le comportement de la MAFOR qui va **soit fournir de l'azote minéral** à partir de l'azote organique qu'elle contient, **soit immobiliser l'azote minéral** du sol avec le risque de créer un effet dépressif, "**de faim d'azote***", pour la culture en place.

En laboratoire, afin de calculer le coefficient de minéralisation, l'incubation est réalisée en conditions contrôlées de **température, d'humidité** (28°C, pF 2,8) et **non limitante en azote**. Ensuite les concentrations en azote nitrique [NO₃⁻] et en azote ammoniacal [NH₄⁺] sont mesurées à 7 reprises sur une période de 91 jours.

FIGURE 23/ Exemple de résultat de minéralisation de l'azote organique



(Source : Celesta Lab-Aurea)

TABLEAU 9/ Interprétation des résultats d'analyse de minéralisation de l'azote

Coefficient de minéralisation de l'azote	Négatif	Autour de zéro	Positif
	<p>Immobilisation de l'azote Risque de « faim d'azote » sur la culture, augmenter la fumure azotée et/ou positionner la MAFOR en dehors des périodes où les besoins azotés sont importants.</p>	<p>MAFOR a priori sans effet. Penser à vérifier qu'il n'existe pas de risque de faim d'azote à partir de la cinétique de minéralisation. Si la cinétique est négative au début et que l'apport est proche du semis de la culture alors le risque de « faim d'azote » existe.</p>	<p>Fourniture d'azote à la culture (à prendre en compte dans le bilan azoté) et positionner l'apport en fonction des besoins de la culture, et de la cinétique de minéralisation de la MAFOR.</p>

Chaque jour calendaire peut être converti en **nombre de jours normalisés**. Un jour normalisé correspond à un jour à une température de 15°C et à une humidité du sol à la capacité au champ (cf. Tableau 10).

TABLEAU 10/ Correspondance des jours à 28°C et des jours à 15°C

Nombre de jour à 28°C (cinétique laboratoire)	Nombre de jours à 15°C (simulations)
0	0
7	31
14	62
21	94
28	125
49	219
70	312
91	406

(Source : SYPREA)

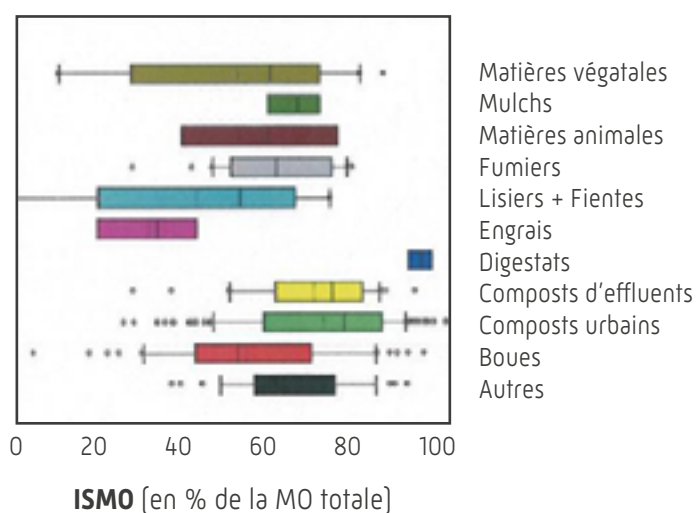
► 4.2. L'INDICE DE STABILITÉ DES MATIÈRES ORGANIQUES (ISMO)

Il permet d'estimer plus précisément le **potentiel humigène** d'une MAFOR en intégrant la minéralisation du carbone.

Cet indicateur, mis au point par l'INRA représente le **pourcentage de MO stable** rapporté à son **taux de MO totale**. Il donne donc une indication sur la quantité de MO permettant de reconstituer le stock humique du sol. Plus l'ISMO est élevé, plus l'amendement sera stable dans le sol.

Les valeurs de cet indicateur sont comprises entre **0 et 1** (il est généralement exprimé en pourcentage, donc de 0 à 100 %).

FIGURE 24/ Classement des MAFOR en fonction de la valeur de leur ISMO



(Source : Lashermes et al., 2008)

Les amendements à base de matières végétales ont une valeur **humifère, « qui produit de l’humus »**, supérieure à ceux provenant de matières **animales**. Un des critères fondamentaux de choix d’un amendement est son rendement en humus, c’est-à-dire son aptitude à donner naissance dans le sol à de la MO stable.

5. L’EXPRESSION DES RÉSULTATS ET UNITÉS DE MESURE

Les résultats transcrits sur les bulletins d’analyses de MAFOR sont exprimés en unités différentes selon le paramètre analysé comme le précise le *Tableau 11*.

TABLEAU 11/ Unités des paramètres des bulletins d’analyses

	Paramètres	Abréviation	Unité de mesure	Résultat exprimé
	Matière sèche	MS	%	
	Matière organique	MO	%	
	Matière minérale	MM	%	
	pH eau	pH	-	
	Conductivité	CE	mS/cm	
	Rapport C/N	C/N	-	
Agronomie	Azote total	NT	%	sur la matière brute
	Azote organique = Azote Kjeldahl	NTK	%	
	Azote ammoniacal	N-NH ₄	g/kg	
	Azote nitrique	N-NO ₃	mg/kg	
	Azote uréique	Nuréique	g/kg	
	Phosphore total	P205	g/kg	
	Potassium total	K ₂ O	g/kg	
	Calcium total	CaO	g/kg	
	Magnesium total	MgO	g/kg	

Avec l'analyse du taux de matière sèche (MS), il est possible de convertir les résultats exprimés sur la matière brute (MB) en résultats exprimés sur la MS, utile pour **comparer deux MAFOR** par exemple.

Correspondances entre unités de mesures fréquemment utilisées par les laboratoires :

1%	=	10 g/kg	=	10 kg/t	=		=	10 ‰
1‰	=	1 g/kg	=	1 kg/t	=	0,1%	=	
1 ppm	=	1 mg/kg	=	1 g/t	=	0,0001%	=	0,001‰



À RETENIR

Savoir lire une analyse de MAFOR est essentiel pour choisir celle **adaptée à ses besoins**.

Pour cela, une **analyse** complète regroupant les critères agronomiques, les critères d'innocuité et d'autres critères (masse volumique, granulométrie) est nécessaire.

Les critères agronomiques vont permettre de déterminer le **classement en engrais ou amendement organique**. La richesse en **potassium** ou **phosphore** peuvent être un indicateur de l'éventuel facteur limitant.

Les critères d'innocuité sécurisent les apports de la MAFOR car ils cadrent les flux sur 10 ans des **ETM et CTO** afin d'éviter l'accumulation trop importante dans les sols. Cependant, une analyse de terre doit indiquer si, au préalable, le sol n'est pas déjà riche en ETM.

Une attention particulière doit être portée sur les **inertes** car ils sont très peu voire pas biodégradables et polluent durablement les sols : **le respect des seuils est PRIMORDIAL**.

Le potentiel humigène ne pourra être apprécié correctement que par la **combinaison des différents indicateurs** tels que l'ISMO et la minéralisation du carbone et de l'azote. Couplés au C/N, ils affineront les périodes optimales d'apport pour **éviter les faims d'azote**, par exemple.



RÉGLEMENTATION SUR LE RETOUR AU SOL DES MAFOR

La bonne utilisation des MAFOR sur l'exploitation ne renvoie pas à la seule maîtrise des critères agronomiques mais implique aussi de **connaître le cadre réglementaire** dans lequel s'inscrit son usage. Le respect des dispositions réglementaires, associé à une bonne connaissance agronomique, est la garantie pour son utilisateur d'un retour au sol sans risque pour les cultures et l'environnement.

Ce chapitre propose de détailler les différents dispositifs réglementaires régissant le retour au sol dont :

- les modalités de mise sur le marché,
- la sortie du statut déchet,
- les notions de responsabilité,
- les différentes procédures de retour au sol,
- les risques sanitaires.

Avant cela, il est important de **définir les nombreuses appellations** données à ces matières (fertilisantes, supports de cultures, déchet, sous-produit, MAFOR, PRO) et ainsi de mieux en apprécier le **sens**, l'**usage** et le **statut**.

1. PRINCIPES GÉNÉRAUX

Rappel : Lorsque plusieurs réglementations s'appliquent à un même cas, les règles les plus contraignantes sont à respecter.

► 1.1. QUELQUES DÉFINITIONS

Les définitions réglementaires sur les matières fertilisantes et leurs usages en agriculture proviennent de deux corpus réglementaires.

Le Code Rural :

- Selon le **Code Rural** (articles L. 255-1 et suivants, articles R. 255-1 et suivants¹), les **matières fertilisantes** comprennent « *les engrais, les amendements et, d'une manière générale, tous les produits dont l'emploi est destiné à assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols* ».
- Les **supports de culture** sont des « *produits destinés à servir de milieu de culture à certains végétaux et à leur permettre, par ancrage de leurs organes absorbants, d'être en contact avec les solutions nécessaires à leur croissance* ».

Le Code de l'environnement :

- L'article L. 541-1 du **Code de l'Environnement**² confère le statut de déchet à « *toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire* ».

- Le **Code de l'Environnement** définit le sous-produit comme « une substance ou un objet issu d'un processus de production dont le but premier n'est pas la production de cette substance ou cet objet »³. Un sous-produit n'est donc pas un déchet. À noter, la spécificité des déjections animales : utilisés au sein de l'exploitation, les effluents d'élevage sont des sous-produits.

Les **Matières Fertilisantes d'Origine Résiduaire (MAFOR)** n'ont pas de définition réglementaire. Elles regroupent toutes les matières d'origine résiduaire diverses (agricole, domestique ou industrielle) susceptibles d'être épandues en agriculture pour leurs propriétés fertilisantes ou amendantes :

- Effluents d'élevage,
- Effluents agro-industriels,
- Digestats de méthanisation, compostés ou non,
- Composts de déchets verts,
- Biodéchets triés à la source,
- Ordures ménagères résiduelles,
- Boues d'épuration urbaines,
- Effluents industriels et boues d'épuration industrielles,
- Cendres,
- Sédiments de dragage,
- Biochars (amendement issu de la pyrolyse de matière organique d'origine végétale)

Le terme de **Produit Résiduaire Organique (PRO)**, quant à lui, fait référence à toutes les matières résiduaires organiques pouvant être épandues en agriculture à l'état brut ou traité. Il désigne donc les matières considérées par le terme de MAFOR à l'exception des matières minérales.

► 1.2. MODALITÉS DE MISE SUR LE MARCHÉ ET UTILISATION

L'importation, la détention en vue de la vente, la mise en vente, la vente, la distribution à titre gratuit ou l'utilisation, sous quelque dénomination que ce soit sur le territoire national, d'une matière fertilisante, d'un adjuvant pour matières fertilisantes ou d'un support de culture est subordonnée à l'obtention d'une **autorisation** de mise sur le marché **délivrée par l'ANSES au terme d'une procédure d'évaluation** d'analyse des dangers et de l'efficacité⁴.

Pour mettre à disposition une MAFOR, la règle de base est donc l'**Autorisation de Mise sur le Marché (AMM)**⁵.

Cependant, l'article L255-5 du Code Rural et de la Pêche Maritime⁶ introduit **7 dispenses** pour :

- 1) Les MAFOR conformes à une norme NF U rendue d'application obligatoire par un arrêté.
- 2) Les MAFOR conformes à un règlement de l'Union Européenne.
- 3) Les MAFOR conformes à un cahier des charges approuvé par voie réglementaire garantissant leur efficacité et leur innocuité.
- 4) Les déchets, résidus ou effluents dont l'évacuation ou le déversement sur des terres agricoles en tant que matières fertilisantes fait l'objet d'un plan d'épandage.
- 5) Les matières organiques brutes obtenues à partir de matières naturelles sans traitement chimique et constituant des sous-produits d'une exploitation agricole ou d'un établissement non agricole d'élevage ou d'entretien des animaux lorsqu'ils sont cédés directement, à titre gratuit ou onéreux, par l'exploitant ou le responsable de l'établissement.
- 6) Les matières fertilisantes stockées ou circulant sur le territoire sans être destinées à être utilisées ou vendues sur le territoire.
- 7) Les substances naturelles à usage biostimulant autorisées.

Dans ces 7 cas de figures, les MAFOR sont donc dispensées d'AMM pour être mises à disposition des agriculteurs.

► 1.3. SORTIE DU STATUT DE DÉCHET

La possibilité de sortie du statut de déchet est énoncée à l'article L. 541-4-3 du Code de l'Environnement⁷.

« Un déchet cesse d'être un déchet après avoir été traité et avoir subi une opération de valorisation, notamment de recyclage ou de préparation en vue de la réutilisation et s'il répond à des critères remplissant l'ensemble des conditions suivantes :

- la substance ou l'objet sont couramment utilisés à des fins spécifiques ;
- il existe une demande pour une telle substance ou objet ou elle répond à un marché ;
- la substance ou l'objet remplissent les exigences techniques aux fins spécifiques et respectent la législation et les normes applicables aux produits ;
- son utilisation n'aura pas d'effets globaux nocifs pour l'environnement ou la santé humaine. »

Ces critères sont fixés par l'autorité administrative compétente. Ils comprennent le cas échéant des teneurs **limites en substances polluantes** et sont fixés en prenant en compte les effets nocifs des substances ou de l'objet sur l'environnement.

La sortie du statut déchet des matières fertilisantes et supports de cultures est encadrée par **l'article L.255-12 du Code Rural et de la Pêche Maritime⁸**, introduit par **l'article 95 de la loi dite EGalim d'octobre 2018⁸**, en fonction des voies d'application sur le sol.

La sortie du statut déchet s'applique pour :

- Les MAFOR ayant une autorisation de mise sur le marché (AMM)
- Les MAFOR conformes à une norme rendue d'application obligatoire après évaluation de l'ANSES, à l'exception des matières issues de la transformation de boues de station d'épuration seules ou en mélange (norme AFNOR NF U44-095). Un arrêté ministériel du MAA et MTES viendra préciser les normes éligibles et les conditions de cette sortie de statut de déchet
- Les MAFOR conformes à un règlement de l'Union Européenne
- Les MAFOR conformes à un cahier des charges, à l'exception des boues de station d'épuration seules ou en mélange.

La réglementation concernant la sortie du statut déchet pour les déchets conformes à une norme rendue d'application obligatoire est **en cours d'évolution**. À l'heure actuelle, la conformité à une norme d'application obligatoire ne signifie pas la sortie de statut de déchet (article du Code Rural L 255-12 introduit par l'Article 95 de la loi EGalim⁸). Des ordonnances viendront **préciser les normes éligibles** et les **conditions de la sortie de statut de déchet** (courant 2021).

Par exemple un compost normé NF U44 051 ou NF U44 095 a un statut administratif de déchets. Il semblerait que les composts et/ou les digestats de boues ne puissent pas prétendre à la sortie du statut de déchet, sauf s'ils bénéficient d'une Autorisation de Mise sur le Marché, procédure autrement plus longue et complexe.

TABLEAU 12/ En pratique, déchet/produit, quelles MAFOR sont concernées ?

MAFOR	Déchets sous PE	Étapes	Déchets hors PE	Étapes	Possibilité produit
DV broyé et criblé	×			Normalisation AMM ou homologation	×
DV broyé non criblé	×				
Compost DV	×			Normalisation AMM ou homologation	×
Composts de boues/digestat avec boues	×	Compostage et normalisation	×		
Boues	×				
Digestats hors boues	×			Compostage et normalisation AMM ou homologation	
				Cahier des charges DigAgri Conformité à l'arrêté du 22 octobre 2020	
Digestats contenant des boues	×	Compostage et normalisation			
Fumier ICPE	×	Compostage et normalisation	×	AMM ou homologation	×
Fumier RSD	Cas particulier : sous-produit. Se référer au RSD du département. En général, pas de document obligatoire, mais tenue du cahier d'épandage recommandée.				
Sous-produits issus d'IAA composté ou non	×			Normalisation, AMM ou homologation	

► 1.4. NOTION DE RESPONSABILITÉ

Les MAFOR peuvent être utilisées sur les sols agricoles **en tant que « déchets », ou quand elles ont pu bénéficier de la sortie du statut de déchet, en tant que « produits »**. Cette distinction est importante car elle définit les responsabilités tout au long de la filière de valorisation du déchet. En effet, tout producteur ou détenteur de déchets est tenu d'en assurer ou d'en faire assurer la gestion, conformément à la réglementation. Les producteurs de déchets doivent donc **veiller à choisir des filières conformes** à la réglementation et s'assurer de la bonne fin de leur élimination ou valorisation.

D'un point de vue législatif, le producteur de déchets est défini par **toute personne dont l'activité produit des déchets** (producteur initial de déchets) ou toute personne qui **effectue des opérations de traitement des déchets** conduisant à un changement de la nature ou de la composition de ces déchets (Article L 541-1-1 du Code de l'Environnement). Il est **responsable jusqu'à leur élimination ou valorisation finale**, même lorsque le déchet est transféré à des fins de traitement à un tiers (article L541-2 du Code de l'Environnement⁹).

En revanche, dans le cas d'une sortie du statut déchet, la responsabilité est **transférée du producteur du déchet vers l'utilisateur** de produit.

► 1.5. ÉVOLUTIONS RÉGLEMENTAIRES

Attention, les éléments présentés dans ce chapitre s'appuient sur les textes réglementaires parus au moment de la rédaction du guide.

En particulier, **l'article 86 de la Loi sur l'économie circulaire du 10 février 2020**¹⁰ apporte des évolutions sur le retour au sol :

- Révision des référentiels réglementaires sur l'innocuité des boues industrielles et urbaines, seules ou en mélange, brutes ou transformées au plus tard le 1er juillet 2021 (métaux lourds, particules de plastique, perturbateurs endocriniens, détergents, résidus pharmaceutiques, antibiotiques).

Les critères d'acceptabilité des boues seront donc révisés. Les boues non conformes à ces critères ne pourront pas retourner au sol.

- Mélange boues et déchets verts.

« L'autorité administrative compétente détermine par voie réglementaire les conditions dans lesquelles les boues d'épuration peuvent être traitées par compostage seules ou conjointement avec d'autres matières utilisées comme structurants et issues de matières végétales, dès lors que l'opération permet d'améliorer les caractéristiques agronomiques des boues. »

2. LES DIFFÉRENTES PROCÉDURES DE RETOUR AU SOL

La réglementation qui s'applique au retour au sol des MAFOR est complexe. Elle dépend principalement de la catégorie réglementaire de l'installation productrice et du statut juridique de la MAFOR.

► 2.1. PLAN D'ÉPANDAGE (PE)

2.1.1. Cas des boues de stations d'épuration urbaines soumises à la Loi sur l'Eau

→ QU'EST-CE QUE LA LOI SUR L'EAU ?

La première Loi sur l'Eau date du 16 décembre 1964¹¹, elle est à l'origine de l'organisation de la gestion décentralisée de l'eau par bassin versant. Elle a également donné naissance aux Agences de l'eau et aux comités de bassin. Dans les années 90, la loi sur l'eau du 3 janvier 1992¹² a renforcé l'impératif de protection de la qualité et de la quantité des ressources en eau. C'est à ce moment-là que les SDAGE (Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux) et les SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) ont été mis en place. Plus récemment, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006¹³ a apporté la reconnaissance du droit à l'eau pour tous et la prise en compte de l'adaptation au changement climatique dans la gestion des ressources en eau. Les dernières orientations portent sur :

- l'amélioration du service public de l'eau et de l'assainissement ;
- la mise en place d'outils pour atteindre l'objectif de « bon état » des eaux fixé par la Directive cadre sur l'eau (DCE)¹⁴ ;
- la modernisation de l'organisation de la pêche en eau douce.

Le Code de l'Environnement prévoit une procédure **de déclaration, d'enregistrement et d'autorisation** pour des travaux, ouvrages, installations ou activités ayant une influence notable sur l'eau ou le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. C'est à ce cadre réglementaire que doivent répondre les épandages de boues de stations d'épuration urbaines.

L'épandage des boues est soumis aux dispositifs réglementaires suivants :

- « Arrêté du 08/01/1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n°97-1133 du 08/12/1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées » et plus particulièrement à celles de l'article 2 ;
- Articles du code de l'environnement R 211-25 à R 211-47 et plus particulièrement l'article R 211-39 ;
- « Arrêté du 21/07/2015 relatif aux systèmes d'assainissements collectifs et aux installations d'assainissement non collectifs, à l'exception des installations d'assainissement non collectifs recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j DBO5 » ;
- Circulaire n°DE/SDPGE/BLP n°9 du 18/04/2005 ;
- Circulaire n°DE/GE n°357 du 16/03/1999.

Pour épandre les boues avec le statut de déchet, la mise en place d'un **plan d'épandage** est obligatoire. C'est la Direction Départementale des Territoires (et de la Mer) qui contrôle le respect des dispositions réglementaires et notamment celles régies par le décret du 8 décembre 1997 et de **l'arrêté du 8 janvier 1998**¹⁵.

Le plan d'épandage sert à définir les conditions d'épandage qui peuvent relever d'exigences d'ordre réglementaire ou agronomique. L'intérêt agronomique des boues doit y être justifié (art 6 décret n° 97-1133¹⁶). L'objectif du plan est de garantir :

- la **qualité** des boues pour en vérifier l'innocuité,
- l'**aptitude des sols et des cultures** à recevoir les boues,
- la **quantité** de boues pour définir une dose d'apport et une surface adaptée,
- les **moyens** d'épandage,
- les **solutions alternatives** à l'épandage.

Le producteur de boues est responsable des boues de la production jusqu'à la valorisation finale sur les parcelles. À ce titre, c'est à lui que revient le dépôt du plan d'épandage auprès de l'Administration. Il doit également en assurer le suivi au sein d'un **bilan agronomique** et d'un **programme prévisionnel**. C'est aussi dans le cadre du plan d'épandage qu'une **convention fixant les engagements** entre le producteur de boues (commune, syndicat, intercommunalité, délégataire de service public...) et l'utilisateur de boues, l'agriculteur, est signée.

TABLEAU 13/ Résumé indicatif des dispositions réglementaires prévues pour l'épandage des boues, selon la taille de la station d'épuration urbaines et la quantité maximale de boues épandues dans l'année

Quantités maximales de boues épandues dans l'année Code de l'environnement art R214 – 1.2.1.3.0	< 3 t MS/an OU < 0,15 t N total/an	3 à 800 t MS/an OU 0,15 à 40 t N total/an	> 800 t MS/an OU 40 t N total/an
Régime Épandage Rubrique 2.1.3.0	Règlement Sanitaire Départemental	Déclaration	Autorisation
Étude préalable d'Épandage (EPE)	Version simplifiée EPE petites collectivités	Obligatoire et transmises aux services de l'État	
Modifications de l'EPE	cf. Circulaire du 18 avril 2005 cf. Circulaire du 16 mars 1999		

Flux journaliers Code de l'environnement article R 211-39	≤ 120 kg DBO5/j	> 120 kg DBO5/j
Équivalent-Habitant (EH)	0 - 2000 EH	> 2001 EH
Synthèse annuelle du registre d'épandage	Respect des prescriptions générales des prescriptions des articles R 211-27 à 211-47 du code de l'environnement et de l'arrêté du 8 janvier 1998	
	Remise obligatoire	Remise obligatoire, jointe au BA
Programme prévisionnel d'épandage (PPE)	-	Obligatoire
Bilan agronomique (BA)	Synthèse annuelle du registre des épandages	Obligatoire + Synthèse annuelle du registre des épandages

Un fonds de garantie a été créé par la loi sur l'eau du 30 décembre 2006¹³ (art. L.425-1) pour permettre l'indemnisation des dommages qui pourraient être causés aux exploitants agricoles et aux propriétaires des terres agricoles et forestières, au cas où les terres deviendraient impropres à la culture en raison de la réalisation d'un risque sanitaire ou de la survenance d'un dommage écologique lié à l'épandage. Le décret du 18 mai 2009¹⁷ précise les modalités de fonctionnement du fonds de garantie des risques liés à l'épandage agricole des boues d'épuration.

En 2017, aucune demande d'indemnisation n'ayant été exprimée, la taxe (0,50 € par tonne de matière sèche produite) à laquelle étaient soumis les « producteurs de boues » et qui alimentait ce fonds de garantie a été supprimée. Cependant, même sans être alimenté par une taxe, ce fonds de garantie continue d'exister et peut indemniser un exploitant agricole en cas de préjudices. Il bénéficierait d'une réserve suffisante pour satisfaire la demande.

L'éventualité d'une indemnisation est en effet très limitée dès le départ, les conditions d'application sont très strictes :

- Le risque ou le dommage ne doit pas être connu au moment de l'épandage,
- Il ne doit pas être assurable par les contrats d'assurance de responsabilité civile du producteur de boues ou par les contrats d'assurance relatifs à la production et à l'élimination des boues.
- L'épandage doit par ailleurs avoir été effectué dans des conditions conformes à la réglementation en vigueur.
- Les demandes d'indemnisation doivent être transmises au Préfet de son département.

2.1.2. Cas des effluents agricoles et/ou déchets organiques

En dehors des stations d'épuration productrices de boues urbaines, toute exploitation agricole, industrie ou tout établissement qui génère des effluents et/ou déchets susceptibles de nuire à l'environnement est soumis à un régime réglementaire établi selon :

- la nature de l'activité
- les capacités de production
- les charges organiques ou quantités de déchets générées

Les élevages, les exploitations viticoles, les entreprises agro-alimentaires, les industries papetières ou encore les plateformes de valorisation de déchets sont autant d'activités génératrices d'effluents ou de déchets valorisables en agriculture. Selon leur taille ou activité, ils sont soumis au Règlement Sanitaire Départemental (RSD) ou au régime des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)¹⁸ :

- Le **Règlement Sanitaire Départemental (RSD)** constitue le texte de référence pour imposer des prescriptions, en matière d'hygiène et de salubrité, aux activités qui ne relèvent pas du champ d'application des installations classées pour la protection de l'environnement. L'application du RSD relève de la compétence de l'autorité municipale. Ce document, propre à chaque département, est disponible librement en mairie ou en préfecture.

- Le cadre législatif des **Installations Classées pour la Protection de l'Environnement** (ICPE) est administré par la Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DREAL) ou la Direction Départementale de la Protection des Populations (DDPP). Les ICPE sont subdivisées en rubriques, définies dans une nomenclature, et en 3 régimes, d'autorisation, d'enregistrement ou de déclaration en fonction de l'importance des risques ou des inconvénients qui peuvent être engendrés.

RSD	ICPE		
	Déclaration	Enregistrement	Autorisation

→ SEUILS DE CLASSEMENT RSD ET ICPE

Les tableaux ci-dessous présentent les rubriques ICPE et les seuils de classement associés aux principales activités produisant ou générant des MAFOR valorisables par retour au sol.

- Exploitations agricoles productrices d'effluents d'élevage**

TABLEAU 14/ Seuils RSD et ICPE en élevage (en nombre d'animaux ou animaux-équivalents)¹⁹

	Règlement Sanitaire Départemental (RSD)	ICPE			
		Déclaration	Enregistrement	Autorisation	N° de rubrique
 Ovins, caprins, équins	tous effectifs	-			
 Bovins					
Veaux de boucherie et/ou d'engraissement	< 50	50 à 400	401 à 800	> 800	2101-1
Vaches laitières	< 50	50 à 150	151 à 400	> 400	2101-2
Vaches allaitantes	< 100	≥ 100	-		2101-3
 Porcs	< 50	50 à 450	> 450	-	2102
 Lapins	< 3 000	3 000 à 20 000	-	> 20 000	2110
 Volailles et palmipèdes	< 5 000	5 000 à 30 000	30 001 à 40 000	> 40 000	2111 et 3660 intensif

• **Autres installations**

TABLEAU 15/ Rubriques ICPE des principaux établissements produisant des déchets organiques

Type de site	Site soumis aux ICPE Service de l'état concerné : DDPP ou DREAL		
	Déclaration	Enregistrement	Autorisation
Rubrique 2170 : Fabrication des engrais, amendements et supports de culture à partir de matières organiques à l'exclusion des rubriques 2780 et 2781	Capacité de production comprise entre 1 t/j et 10 t/j		Capacité de production supérieure ou égale à 10 t/j
Rubrique 2171 : Fumier, engrais et supports de culture (dépôts de) renfermant des matières organiques et <u>n'étant pas à l'annexe d'une exploitation agricole</u>	Le dépôt étant supérieur à 200 m ³		
Rubrique 2250 : Alcools d'origine agricole, eaux de vie et liqueurs (production par distillation des) Nota : si distillation discontinue alors pour la déclaration et l'enregistrement le seuil de 30 hl/j est remplacé par le seuil de 50 hl de capacité totale de charge des alambics	Capacité de production exprimée en équivalent alcool pur : supérieure à 0,5 hl/j et inférieure ou égale à 30 hl/j	Capacité de production exprimée en équivalent alcool pur : supérieure à 30 hl/j et inférieure ou égale à 1 300 hl/j	Capacité de production exprimée en équivalent alcool pur : strictement supérieure à 1 300 hl/j
Rubrique 2251 : Préparation, conditionnement de vin	Capacité de production : supérieure à 500 hl/ an, mais inférieure ou égale à 20 000 hl/ an	Capacité de production : supérieure à 20 000 hl/ an	Installations dont les activités sont classées au titre de la rubrique 3642
Rubrique 2780 : Installation de compostage de déchets non dangereux ou matière végétale, ayant, le cas échéant, subi une étape de méthanisation			
1/ Compostage de matière végétale brute, effluents d'élevage, matière stercoraires	Quantité de matière traitée supérieure ou égale à 3 t/j et inférieure à 30 t/j	Quantité de matière traitée supérieure ou égale à 30 t/j et inférieure à 75 t/j	Quantité de matière traitée supérieure ou égale à 75 t/j
2/ Compostage de fraction fermentescible de déchets triés à la source ou sur site, de boues de station d'épuration des eaux urbaines, de papeteries, d'industries agroalimentaires, seuls ou en mélange avec des déchets admis dans une installation relevant de la rubrique 2780-1	Quantité de matière traitée supérieure ou égale à 2 t/j et inférieure à 20 t/j	Quantité de matière traitée supérieure ou égale à 20 t/j et inférieure à 75 t/j	Quantité de matière traitée supérieure ou égale à 75 t/j
3/ Compostage d'autres déchets ou stabilisation biologique		Quantité de matières traitées inférieure à 75 t/j	Quantité de matières traitées supérieure ou égale à 75 t/j
Rubrique 2781 : Installations de méthanisation de déchets non dangereux ou de matière végétale brute, à l'exclusion des installations de méthanisation d'eaux usées ou de boues d'épuration urbaines lorsqu'elles sont méthanisées sur leur site de production			
1. Méthanisation de matière végétale brute, effluents d'élevage, matières stercoraires, lactosérum et déchets végétaux d'industries agroalimentaires	Quantité de matières traitées inférieure à 30 t/j	Quantité de matières traitées supérieure ou égale à 30 t/j et inférieure à 100 t/j	Quantité de matières traitées supérieure ou égale à 100 t/j
2. Méthanisation d'autres déchets non dangereux		Quantité de matières traitées inférieure à 100 t/j	Quantité de matières traitées supérieure ou égale à 100 t/j
Rubrique 2782 : Installations mettant en œuvre d'autres traitements biologiques de déchets non dangereux que ceux mentionnés aux rubriques 2780 et 2781			Toujours autorisation
Rubrique 2794 : Installation de broyage de déchets végétaux non dangereux	Quantité de déchets traités supérieure ou égale à 5 t/j mais inférieure à 30 t/j	Quantité de déchets traités supérieure ou égale à 30 t/j	

(Source : Code de l'Environnement)

La nomenclature officielle est constituée par la colonne A de l'annexe 1 à l'article R. 511-9 du code de l'environnement²⁰.

Sur le site de l'INERIS, la consultation d'AIDA <http://www.ineris.fr/aida/> permet de suivre les éventuelles évolutions de changements de seuil.

Épandage des effluents vinicoles et réglementation Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)

Plusieurs solutions de traitement des effluents vinicoles sont possibles. Celles correspondant à l'épandage sont les plus répandues. Les conditions dans lesquelles l'épandage doit être pratiqué sont définies dans la réglementation. Celles-ci dépendent du classement et du régime ICPE de l'installation qui produit le déchet et l'épandage. Les installations de production de vin susceptibles de produire et d'épandre des déchets (ou effluents) relèvent principalement de la rubrique n° 2251 (Préparation, conditionnement de vins). À l'intérieur de cette rubrique, elles peuvent être soumises à des régimes différents, en fonction du volume de vin produit : l'autorisation, l'enregistrement et la déclaration (voir Tableau 16).

TABLEAU 16/ Trois catégories pour les établissements vinicoles

Volume de vin produit en hl/an	Moins de 500 hl	De 500 à 20000 hl	Plus de 20000 hl : Selon les cas	
Régime	<i>Pas de régime spécifique</i>	Déclaration Rubrique 2251	Enregistrement Rubrique 2251	Autorisation Rubrique 3642
Texte réglementaire	Règlement Sanitaire Départemental (RSD)	Arrêté ministériel du 15 mars 1999	Arrêté ministériel du 26 novembre 2012	Arrêté ministériel du 3 mai 2000

(Source : MESE 84, juin 2015)

→ SYNTHÈSE : CONTRAINTES À RESPECTER POUR LE RETOUR AU SOL DANS LE CADRE D'UN PLAN D'ÉPANDAGE SELON LA PROCÉDURE

TABLEAU 17/ Tableau synthèse contraintes/procédure « Plan d'épandage »

Contraintes à respecter	Procédure		
	LEMA	RSD	ICPE
En amont des épandages			
Elaboration d'une étude de périmètre (plan d'épandage)	×	×	×
Caractérisation et innocuité de l'effluent/déchet	×		×
Contrôle de la qualité des sols	×		×
Conformité de l'ouvrage de stockage de l'effluent/déchet	×	×	×
Pendant les épandages			
Respect des distances et périodes d'épandage	×	×	×
Réalisation de l'enfouissement de l'effluent/déchet	×		×
Respect des délais après épandage	×		×
Après les épandages			
Enregistrement des pratiques	×	×	×
Réglementations détaillées en Annexe	Annexe A	Annexe B	Annexe C

► 2.2. AUTORISATION DE MISE SUR LE MARCHÉ (AMM)

L'homologation est une démarche individuelle que le producteur ou le responsable de la mise sur le marché engage pour son produit. Le dossier de demande d'homologation est soumis à l'avis de l'ANSES. L'autorisation est délivrée par un comité d'homologation après examen du produit et de résultats d'essais, permettant d'évaluer son intérêt agronomique et son innocuité. L'homologation est attribuée pour une durée maximale de dix ans. Elle est régie par le Code rural et de la Pêche maritime.

Les exigences de qualité concernent les teneurs en éléments traces métalliques, en composés traces organiques et des critères microbiologiques.

► 2.3. NORMALISATION

Il s'agit d'une démarche volontaire des professionnels d'une filière qui envisagent de mettre un produit sur le marché. Les normes d'application obligatoire sont rédigées par l'Association Française de NORMALISATION (AFNOR) et décrivent les exigences pour certains types de MAFOR (dénominations). Les critères normatifs incluent des spécifications concernant les caractéristiques agronomiques et des teneurs limites en contaminants chimiques, en pathogènes, voire en éléments inertes.

TABLEAU 18/ Principales normes s'appliquant aux MAFOR

Norme	NF U42-001/A10 (Décembre 2009)	NF U44-051 (Avril 2006)	NF U44-095/A1 (Octobre 2008)
Type de produit	Engrais organique	Amendement organique composté ou non, hors MIATE	Amendement organique composté contenant des MIATE
Exemple de MAFOR concernées	Fientes de volailles, guano, Vinasse viticole, Sous-produits animaux (corne broyée, farine de plume, poudre d'os, sang séché) et cendres animales Scories de déphosphoration...	Fumiers, déjections animales avec et sans litière ; Composts ou lombricomposts divers, ayant subi une digestion anaérobie ou non ; Matières végétales (tourteaux, fruits ou légumes, tailles de vergers, vinasses...) Mélanges de matières animales et végétales ayant subi ou non un compostage	Composts contenant des matières issues du traitement des eaux usées (compost de boues d'épuration urbaines et de certaines boues industrielles)

► 2.4. CONFORMITÉ À UN RÈGLEMENT EUROPÉEN

Le nouveau Règlement (UE) n° 2019/1009 sur les Matières Fertilisantes et Supports de Cultures (MFSC)²¹ a été adopté en juin 2019 et sera mis en application en juillet 2022. Il établit un **cadre harmonisé** définissant des critères de qualité, des règles sanitaires et d'étiquetage pour tous les **fertilisants** (inorganiques et organiques) et les **biostimulants**. En sont exclus les boues et/ou composts de boues et les fractions fermentescibles des ordures ménagères issues de tri mécano-biologique. Il introduit des valeurs limites en éléments traces métalliques à respecter pour tous les fertilisants, qui sont, pour certains ETM et pathogènes, plus contraignantes que la réglementation française. Il prévoit aussi la mise en place d'un organisme d'évaluation chargé de contrôler la conformité des fertilisants. Les MAFOR conformes pourront sortir du statut déchet.

► 2.5. CONFORMITÉ À UN CAHIER DES CHARGES APPROUVÉ

Les matières fertilisantes peuvent être dispensées d'AMM si elles sont conformes à un cahier des charges approuvé par arrêté du ministre de l'agriculture et sous réserve que l'innocuité pour l'homme, les animaux et leur environnement des produits considérés soit établie.

On peut citer pour exemple le cahier des charges DigAgri²² approuvé par l'arrêté du 22/10/2020. Il permet aux unités de méthanisation qui respectent les critères (matières premières, temps de séjour, stockage du digestat, analyses...) de commercialiser le digestat, sans passer par un plan d'épandage. Les matières premières autorisées sont les effluents d'élevages, les matières végétales agricoles, certains sous-produits d'industries agro-alimentaires. Au total, les effluents d'élevage et les matières végétales agricoles brutes doivent représenter au minimum 60 % de la masse brute des matières incorporées. Des restrictions concernant les usages sont prévues : le digestat peut être utilisé en fertilisation de cultures, intercultures et prairies, à l'exclusion des cultures légumières, maraîchères et des cultures destinées à être consommées crues.

► 2.6. DÉCHETS NON CONFORMES À LA RÉGLEMENTATION

Un déchet organique qui ne respecte pas les exigences minimales du cadre réglementaire est un déchet dont l'élimination est décidée au niveau régional. Le plan régional de prévention et de gestion des déchets en précise les modalités. En pratique, ces déchets sont soit incinérés soit enfouis.

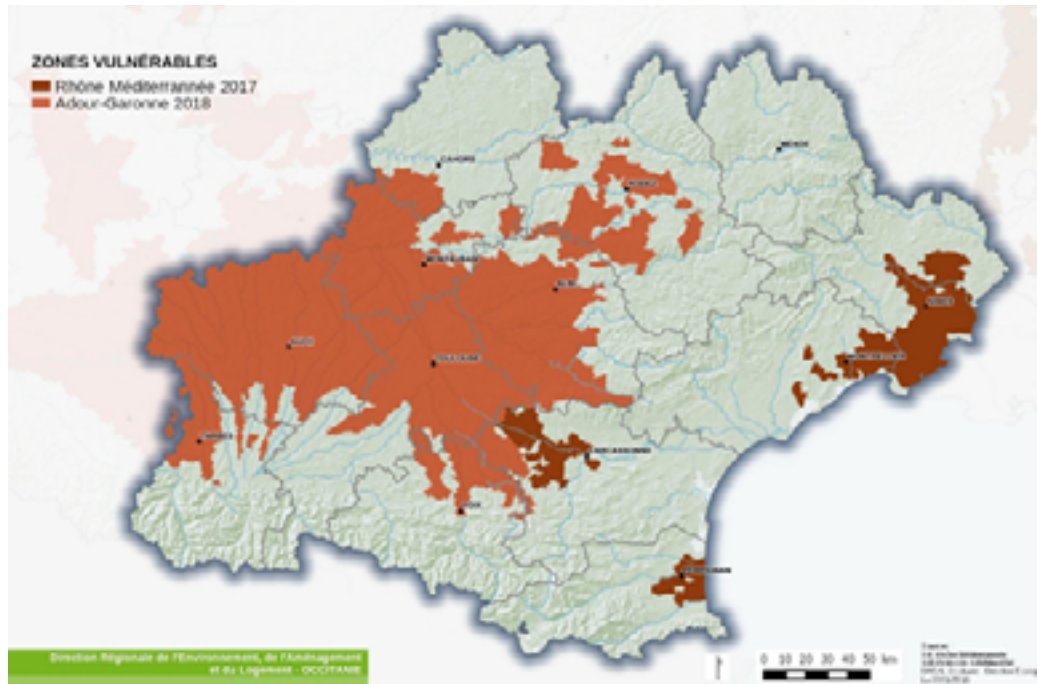
► 2.7. LES AUTRES CADRES RÉGLEMENTAIRES

2.7.1. Directive Nitrates en zone vulnérable

La directive « nitrates » est le nom courant qui est donné à la directive européenne adoptée en décembre 1991²³, concernant *la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole*. Elle a pour objectif général de réduire la pollution des eaux provoquée ou induite par les nitrates d'origine agricole et de prévenir toute nouvelle pollution de ce type.

Les zones concernées par cette directive sont dites « **zones vulnérables** » (voir Figure 25). Dans ces zones s'appliquent des obligations déclinées dans un programme d'actions national (PAN) et un programme d'actions régional (PAR).

FIGURE 25/ Les zones vulnérables en Occitanie



Dans les zones vulnérables, certains points sont à respecter :

- 1) l'élaboration d'un plan prévisionnel de fumure azotée,
- 2) la tenue d'un cahier d'enregistrement des pratiques d'épandages à jour,
- 3) l'apport maximal annuel de 170 kg d'azote organique par hectare de SAU (il s'agit d'azote organique d'origine animale ou d'azote organique provenant aussi des MIATE, des composts, etc.),
- 4) les périodes pendant lesquelles l'épandage est interdit,
- 5) des distances d'isolement par rapport à la ressource en eau et des conditions d'épandage
- 6) les exigences relatives au maintien d'une couverture végétale et des modalités de gestion des résidus de récolte,
- 7) la capacité de stockage des effluents suffisante avec des installations étanches,
- 8) le pilotage de la fertilisation azotée sur la base d'analyses de sol, de végétaux.

La directive est retranscrite au sein de chaque région ayant une zone vulnérable par un **arrêté préfectoral** qui fait foi. Les arrêtés, leurs annexes et la cartographie des communes concernées sont disponibles sur le site de la DREAL de bassin ou le site des services de l'état du département.

Contactez votre DDT(M) ou la Chambre d'Agriculture de votre département pour connaître les règles à respecter dès qu'une parcelle de votre exploitation est située dans les zones concernées.

2.7.2. Règlement de l'Agriculture Biologique (AB)

Les « engrais et amendements de sols » autorisés pour la fertilisation des cultures en AB sont définis dans l'Annexe 1 du règlement CE 834/2007²⁴ qui précise les matières premières autorisées et le cas échéant, leurs conditions d'utilisation. Le *Tableau 19* présente un extrait de cette annexe.

L'épandage de boues d'épuration est interdit en agriculture biologique (car non citées dans la liste des MAFOR utilisables) et par une **majorité de produits sous label de qualité**.

TABLEAU 19/ Liste de MAFOR autorisées en AB

Dénomination Produits composés ou produits contenant uniquement les matières reprises dans la liste ci-dessous :	Description, exigences en matière de composition, conditions d'emploi
Fumiers	Produits constitués par le mélange d'excréments d'animaux et de matière végétale (litière)
Fumier séché et fiente de volaille déshydratée	<p>Provenance d'élevages industriels interdite</p> <p>À compter du 1^{er} janvier 2021, sont exclus d'une utilisation sur des terres biologiques les effluents d'élevages (fumiers, lisiers, engrais en bouchons, les digestats, composts) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - en système caillebotis ou grilles intégral dépassant 3 000 emplacements pour porcs de production et 900 emplacements pour truies - en cages dépassant 60 000 emplacements pour poules. <p>Ces « seuils » ont vocation à disparaître à l'horizon 2023. Il n'y aura donc normalement plus possibilité d'utiliser des engrais issus d'élevages en caillebotis ou grille intégral ou en cage, sans distinction de taille.</p> <p>Utilisation après fermentation contrôlée et/ou dilution appropriée</p>
Compost d'excréments d'animaux solides, y compris les fientes de volaille et les fumiers compostés	
Excréments d'animaux liquides	
Déchets ménagers compostés ou fermentés	<p>Voir note complémentaire*</p> <p>Teneurs maximales en mg/kg de matière sèche :</p> <p>cadmium : 0,7 ; cuivre : 70 ; nickel : 25 ; plomb : 45 ; zinc : 200 ; mercure : 0,4 ; chrome (total) : 70 ; chrome (IV) : 0</p>
Tourbe	Utilisation limitée à l'horticulture (maraîchage, floriculture, arboriculture, pépinière)
Compost de champignonnières	La composition initiale du substrat doit être limitée à des produits de la présente annexe
Déjection de vers (lombricompost) et d'insectes	
Guano	
Mélange composté ou fermenté de matières végétales	Produit obtenu à partir de mélanges de matières végétales, soumis à un compostage ou une fermentation anaérobie en vue de la production de biogaz

(Source : Extrait de l'annexe I du règlement CE 889/2008, mise à jour)

*** Note complémentaire guide de lecture INAO janvier 2020 sur les « déchets ménagers compostés ou fermentés » :**
*Seuls sont concernés les **déchets ménagers d'origine végétale ou animale** issus de l'alimentation des habitants d'un territoire donné et des jardins des habitations situées sur ce territoire ainsi que les déchets dits assimilés (déchets des activités économiques pouvant être collectés avec ceux des ménages). Il peut s'agir des déchets des entreprises (artisans, commerçants...) ou encore des déchets du secteur tertiaire (écoles, administrations, hôpitaux...) collectés dans les mêmes conditions que les déchets des ménages. Sont collectés notamment : les restes de repas ou de préparation, les serviettes et mouchoirs en papier, l'essuie-tout, les filtres et marcs de café, les sachets de thé, les cartons et papiers aptes au contact alimentaire, les feuilles, branches et tontes des jardins... En sont exclus notamment les couches culottes, les lingettes imprégnées, les litières, les excréments et cadavres d'animaux, les sous-produits animaux de catégorie 1 et 2, les mégots de cigarettes, les déchets des industries agroalimentaires (activités de production ou de transformation de denrées alimentaires employant plus de 10 salariés)...*

Si les résultats d'analyse relatifs à la composition en ETM sont supérieurs aux seuils fixés par le RCE n°889/2008²⁵, les composts ne peuvent pas être utilisés en AB.

► 2.8. LES SIGNES DE RECONNAISSANCE

2.8.1. Code de Bonnes Pratiques Agricoles (CBPA) hors zone vulnérable

Le CBPA est un recueil de recommandations agronomiques (non obligatoires) visant à réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole, destiné aux agriculteurs hors zone vulnérable. Il est régi par l'arrêté du 22 novembre 1993²⁶ et ses annexes. « Il peut être complété, compte tenu des situations locales, par arrêté préfectoral, après avis de la chambre d'agriculture et du conseil départemental d'hygiène. Cet arrêté préfectoral est rendu public ».

Le CPBA classe les fertilisants en trois catégories selon leur C/N. Des périodes d'épandage conseillées ou non par culture, des distances de stockage, des distances d'épandage et des délais d'enfouissement sont définis selon le type de fertilisant.

Hors zone vulnérable, le CPBA est recommandé.

D'autres recommandations existent (exemple : *Le guide de bonnes pratiques pour éliminer et valoriser les boues d'eau potable*²⁷).

2.8.2. Signes de qualité

Les consommateurs sont de plus en plus exigeants quant à la qualité des produits agricoles. Ils sont de plus en plus regardants sur les pratiques de culture et le respect de l'environnement. Ainsi, la mise en place de signes de qualité et de cahiers des charges s'est fortement développée (Global Gap, Agriculture Biologique, écolabel européen, Appellation d'Origine Protégée ou **AOP**, Appellation d'Origine Contrôlée ou **AOC**, Indication Géographique Protégée ou **IGP** etc.).

Certains cahiers des charges ou règlements interdisent l'épandage de MAFOR telles que les boues de station d'épuration. Par conséquent, l'utilisateur doit vérifier s'il est autorisé à épandre les matières qu'il souhaite utiliser.

Exemple des territoires viticoles sous AOP ou Vins de Qualité Supérieure ou destinés aux eaux-de-vie de vin.

Concernant les AOP, l'article D645-2 du code rural et de la pêche maritime²⁸ précise que « *L'utilisation des composts et déchets organiques ménagers, des boues de stations d'épuration autres que celles des installations vitivinicoles, seuls ou en mélange, n'est autorisée, sur les parcelles plantées en vignes, incluses dans l'aire parcellaire délimitée ou figurant sur la liste des parcelles identifiées d'un vin à appellation d'origine contrôlée, que si ces produits et leurs mises en œuvre répondent à des conditions fixées par appellation, dans le cahier des charges, sur proposition du comité national des vins, eaux-de-vie et autres boissons alcoolisées de l'Institut national de l'origine et de la qualité, après avis d'experts nommés par ce même comité* ».

Les articles D 645-23, D 645-32 du Code Rural²⁹ appliquent ces mêmes modalités mais pour, respectivement, les zones à eaux-de-vie de vin et les zones VDQS.

À ce jour, en ex LR (et à priori en Occitanie), aucun ODG (Organisme de Défense et de Gestion) n'a proposé de conditions sur ce point dans leur cahier des charges.

3. LES RISQUES SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTAUX LIÉS À L'ÉPANDAGE DES MAFOR

Si les MAFOR présentent plusieurs intérêts agronomiques de part leur composition (MO, éléments fertilisants), elles sont également susceptibles de contenir des éléments dits « **contaminants** ». Leur dispersion sur les parcelles agricoles lors de l'épandage présente certains risques de **perturbation du milieu et de pollution**.

Ces risques sanitaires portent sur trois domaines principaux :

- **l'environnement** : l'eau, le sol, la flore et la faune sauvages (micro et macro),
- **la santé animale** ainsi que la productivité des animaux d'élevage,
- **la santé humaine** en cas de consommation de denrées alimentaires (d'origine végétale ou animale) ou d'eau contaminées.

Les éléments qui peuvent engendrer des risques sanitaires et environnementaux sont notamment :

- les micro-organismes pathogènes,
- les éléments traces métalliques (ETM),
- les composés traces organiques (CTO), et micro polluants organiques (MPO)
- les éléments inertes et indésirables (plastiques et verres par exemple),
- les éléments fertilisants et notamment l'azote et le phosphore,
- les micropolluants émergents (virus, antibiotiques, perturbateurs endocriniens, résidus pharmaceutiques, détergents...)

Ces composants varient selon **l'origine des effluents** et le processus de traitement employé. Aussi, en fonction des modalités de valorisation des MAFOR, ces éléments indésirables ainsi que les éléments fertilisants (notamment l'azote et le phosphore) peuvent engendrer des **risques sanitaires et environnementaux**.

Les risques sanitaires et environnementaux apparaissent en cas de surdosage, de répartition irrégulière sur la parcelle, de teneur élevée dans les MAFOR épandues ou de mauvaises périodes d'épandage par rapport aux conditions climatiques ou culturelles.

La réglementation vise à limiter ces risques et impose des **seuils à respecter**. C'est pourquoi, comme vu précédemment, ces éléments sont **analysés**.

► 3.1. LA GESTION DES ÉLÉMENTS FERTILISANTS

3.1.1. L'azote

Les fuites d'azote dans l'environnement se concrétisent par :

- **la volatilisation d'ammoniac** dans l'atmosphère durant la phase d'épandage et dans les heures qui suivent. Elle peut concerner une part substantielle de l'azote contenu dans les MAFOR, ce qui réduit la valeur fertilisante de celles-ci ;
- **la lixiviation des nitrates** vers les eaux profondes ou superficielles en période de drainage des sols. Elle intervient majoritairement lorsqu'un excès d'azote minéral (non consommé par les plantes) se trouve présent dans le sol au moment du drainage, en début de période hivernale notamment. Le risque de lixiviation est donc corrélé entre autres, à la quantité d'azote non consommée par les plantes avant leur récolte.

3.1.2. Le phosphore

En Occitanie, seules les exploitations soumises à la PAC et qui auraient contractualisé une MAE (exemple PHAE, CAB) depuis 2007 sont concernées à une réglementation concernant les apports de phosphore organique.

Dans le cadre de la conditionnalité des aides et avec une MAE, les exigences de pratiques de fertilisation phosphatées sont :

- la réalisation d'un plan prévisionnel pour tous les îlots de l'exploitation,
- la tenue d'un cahier d'enregistrement des pratiques d'épandages à jour,
- l'absence de pollution des eaux de surface par les nitrates et les phosphates,
- pour les exploitations ICPE et en dehors des zones vulnérables, celles-ci doivent également respecter des distances d'épandage des effluents d'élevage définies au titre des ICPE par rapport aux points d'eau de surface.

Dans les autres cas (hors MAE), la maîtrise des apports de phosphore est volontaire.

Pour gérer au mieux les MAFOR, il faut établir un bilan phosphaté afin de ne pas trop enrichir le sol tout en favorisant la couverture des besoins des cultures. La forme phosphate prédomine largement dans les MAFOR ; elle varie de 85 à 100% pour les matières largement présentes en région. Leur profil est rappelé dans les fiches du tome II.

► 3.2. LES AUTRES RISQUES

Les épandages de MAFOR contribuent aux émissions de **gaz à effet de serre** sans que l'on sache à ce jour en mesurer l'impact réel sur le dérèglement climatique. Trois gaz à effet de serre sont en cause : le protoxyde d'azote (N₂O), le méthane (CH₄) et le gaz carbonique (CO₂).

De plus, les épandages sont mis en cause lors des épisodes de pollution de l'air dus aux **particules**. Une part importante de celles-ci provient, en effet, de réactions chimiques de gaz entre eux. Ces gaz sont principalement émis par le trafic routier (oxyde d'azote) et par l'activité agricole (ammoniac), notamment lors des épandages lorsque l'enfouissement des effluents n'est pas immédiat.

Enfin, les composés organiques volatiles (COV) proviennent d'un mélange complexe de substances chimiques volatiles issues de l'activité microbologique. Avec l'ammoniac (NH₃) et le sulfure d'hydrogène (H₂S), ils sont à l'origine des odeurs nauséabondes au moment de l'épandage au champ.

► 3.3. LES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET SANITAIRES

Le respect des « **bonnes pratiques** » tout au long de la filière de valorisation va réduire les risques inhérents à l'épandage (pollution de l'eau, de l'air et contamination des sols).

Les paramètres les plus déterminants sont : m'organisation des filières de production et de traitement pour mieux maîtriser les agents pathogènes, les conditions et modalités de **stockage**, les techniques **d'épandage au champ**, le **choix de la période** de l'épandage au regard de la couverture végétale et des conditions climatiques, la détermination de la **dose épandue**.

Il est donc important d'encadrer à la fois la production de ces MAFOR, leurs conditions d'utilisation et leurs quantités épandues. Ceci permettra de déterminer les flux maximaux autorisés sur l'année ou sur une période de 10 ans, variant selon les réglementations.



À RETENIR

Les utilisateurs doivent connaître les statuts des MAFOR afin de se référer à leurs réglementations.

Dans le cadre de la Loi sur l'Eau pour les boues, du RSD ou de la législation ICPE pour les autres déchets, les MAFOR doivent être épandues sur des parcelles mises à disposition d'un plan d'épandage. Des distances et périodes d'épandage, des capacités de stockage, des exigences de qualité de la MAFOR et du sol sont généralement demandées.

Les MAFOR peuvent recevoir la qualification de produit si elles répondent aux conditions d'une homologation, d'une normalisation, de la conformité à un cahier des charges ou à un règlement européen. Ces procédures ont pour fonction d'encadrer les matières fertilisantes mises sur le marché et de s'assurer qu'elles répondent à des exigences de qualité strictes tant en ce qui concerne leur valeur agronomique que leurs teneurs en éléments indésirables.

En agriculture biologique, toutes les matières ne sont pas utilisables, notamment les boues. L'agriculteur doit demander au producteur de la MAFOR une trace écrite prouvant que son utilisation en agriculture biologique est possible.



Sources et références bibliographiques

Les lois, ordonnances, décrets, arrêtés ainsi que les codes nationaux sont consultables sur le site : www.legifrance.gouv.fr

1) Code rural et de la pêche maritime :

• *Partie Législative*, Livre II : Alimentation, santé publique vétérinaire et protection des végétaux, Titre V, Chapitre V, articles L.255-1 à L.255-18 révisés en juin 2015.

• *Partie Réglementaire*, Livre II : Alimentation, santé publique vétérinaire et protection des végétaux, Titre V, Chapitre V, articles R.255-1 à R.255-34 révisés en juillet 2015.

2) Code de l'environnement, *Partie Législative*, Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances, Titre IV, chapitre I, section 1, article L.541-1 modifié le 17 décembre 2010.

3) Code de l'environnement, *Partie Législative*, Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances, Titre IV, chapitre I, section 1, article L.541-4-2 modifié le 17 décembre 2010.

4) Ordonnance n° 2015-615 du 04/06/15 relative à *la mise sur le marché et à l'utilisation des matières fertilisantes, des adjuvants pour matières fertilisantes et des supports de culture*, parue au JO n° 128 du 5 juin 2015), article L.255-2.

5) Arrêté du 1^{er} avril 2020 *fixant la composition des dossiers de demandes relatives à des autorisations de mise sur le marché et permis de matières fertilisantes, d'adjuvants pour matières fertilisantes et de supports de culture et les critères à prendre en compte dans la préparation des éléments requis pour l'évaluation*, paru au JORF n°0085 du 7 avril 2020.

6) Code rural et de la pêche maritime, *Partie Législative*, Livre II : Alimentation, santé publique vétérinaire et protection des végétaux, Titre V, chapitre V, section 2, article L.255-5 modifié le 30 octobre 2019.

7) Code de l'environnement, *Partie Législative*, Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances, Titre IV, chapitre I, section 1, article L.541-4-3 modifié le 10 février 2020.

8) Code rural et de la pêche maritime, *Partie Législative*, Livre II : Alimentation, santé publique vétérinaire et protection des végétaux, Titre V, chapitre V, section 2, article L.255-12 modifié le 10 février 2020 et introduit par l'article 95 de la loi dite *EGAlim* n° 2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous.

9) Code de l'environnement, *Partie Législative*, Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances, Titre IV, chapitre I, section 1, article 541-2 modifié le 17 décembre 2010.

10) Loi 2020-105 du 10 février 2020 *relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire* du 10 février 2020.

11) Loi 64-1245 du 16 décembre 1964 *relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution* avec rectificatif aux JO du 15 janvier et 6 février 1965.

12) Loi 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau, parue au JORF N°3 du 4 janvier 1992.

13) Loi 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (dite *LEMA*) article 45, parue au JO n°303 du 31 décembre 2006.

14) Directive-cadre sur l'eau ou DCE (2000/60/CE) du Parlement européen et du Conseil, adoptée le 23 octobre 2000.

15) Arrêté du 08 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux *épandages de boues sur les sols agricoles* pris en application du décret no 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à *l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées*, paru au JO n°26 du 31 janvier 1998.

16) Décret 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à *l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées*, paru au JO n° 286 du 10 décembre 1997.

17) Décret 2009-550 du 18 mai 2009 relatif à *l'indemnisation des risques liés à l'épandage agricole des boues d'épuration urbaines ou industrielles*, paru au JO n° 116 du 20 mai 2009.

18) Loi 76-663 du 19 juillet 1976 *relative aux installations classées pour la protection de l'environnement*, parue au JO du 20 juillet 1976.

19) Ministère de la Transition Écologique et Solidarité, *Nomenclature des installations classées AMPG & notes d'interprétation*, décembre 2019.

20) Code de l'environnement, *Partie réglementaire*, Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances, Titre I, chapitre I, section 2, article R. 511-9 (annexe) modifié par Décret n°2012-384 du 20 mars 2012.

21) Règlement (UE) 2019/1009 du Parlement européen et du Conseil du 5 juin 2019 établissant *les règles relatives à la mise à disposition sur le marché des fertilisants UE*, modifiant les règlements (CE) n°1069/2009 et (CE) n°1107/2009 et abrogeant le règlement (CE) n°2003/2003.

22) Arrêté du 22/10/2020 paru JORF n°0272 du 8 novembre 2020.

23) Directive 91/676/CEE du Conseil, du 12 décembre 1991, concernant *la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles*, parue au JO n° L. 375 du 31/12/1991.

24) Règlement européen (CE) 834/2007 du Conseil, du 28 juin 2007, relatif à *la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques* et abrogeant le règlement (CEE) n°2092/91, paru au JOCE du 20 juillet 2007 et entré en vigueur le 1^{er} janvier 2009.

25) Règlement européen (CE) n°889/2008 de la Commission du 5 septembre 2008, paru au JOCE du 18 septembre 2009 dont l'annexe I a été modifiée en août 2009.

26) Arrêté du 22 novembre 1993 relatif au *Code de bonnes pratiques agricoles*.

27) Guide AFNOR FD X33-020 *Guide de bonnes pratiques pour éliminer et valoriser les boues d'eau potable* du 20 juillet 2015.

28) Code rural et de la pêche maritime, *Partie Réglementaire*, Livre VI : Production et marchés, Titre IV, Chapitre V, articles D. 645-2, D 645-23, D 645-32. Modifiés par le Décret 2010-1438 du 22 Novembre 2010.

29) Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, *Volet agricole de la Feuille de route pour l'économie circulaire*, 2019.



ÉPANDRE LES MAFOR AVEC LE BON MATÉRIEL

Dans le présent chapitre est traité le volet matériel d'épandage des MAFOR. Il présente les différentes caractéristiques des matériels présents en région, la maîtrise et la régularité de l'épandage ainsi que la certification éco-épandage.

1. À CHAQUE TYPE DE MATIÈRE SON MATÉRIEL D'ÉPANDAGE¹

► 1.1. LES MATIÈRES LIQUIDES

Est considérée comme liquide toute matière ayant une siccité inférieure à 10% (lisiers, boues urbaines, industrielles...). Le volume épandu est généralement compris entre **20 et 200 m³/ha**. On utilise une tonne à lisier, de capacité comprise entre 3 et 35 m³. Il existe deux modes de fonctionnement des tonnes à lisier :

- **les tonnes à compresseur d'air**, les plus répandues en France car les plus simples, qui utilisent la pression puis la dépression dans la cuve afin d'assurer les fonctions de vidange et de remplissage ;
- **les tonnes à pompes**, plus onéreuses, qui utilisent des pompes centrifuges ou volumétriques pour assurer ces fonctions.

Les tonnes à lisier sont équipées de différents systèmes de sortie des effluents. Il est bon de les connaître afin d'effectuer un épandage optimal en fonction du travail à réaliser.

→ TONNES À LISIER AVEC BUSE PALETTE / RAMPE À BUSES

Le jet de MAFOR sortant de la buse est éclaté par la palette à sa sortie ce qui le disperse sur le sol. Ce dispositif présente les avantages et les inconvénients cités dans le *Tableau 20*.

TABLEAU 20/ Principales caractéristiques des tonnes à lisier avec buse palette / rampe à buses

Avantages	Inconvénients
Investissement limité	Répartition transversale très moyenne
Utilisation simple	Nuisances olfactives conséquentes et perte d'azote (éviter d'épandre avec du vent)
Peu de risque de bouchage	Largeur de travail limitée
Débit important	
Aucune contrainte de terrain	
Poids réduit	
Puissance de traction réduite	

Il existe plusieurs types de buses palette :

- **Palettes inversées** (Photo 4) et « ras du sol » : par leur réglage, on peut diriger le jet vers le bas, obtenir un jet plat et limiter ainsi les odeurs.
- **Les buses de « précision »** (Photo 5) : leur forme spéciale permet une meilleure répartition transversale pour des largeurs d'épandage de 12 m.

PHOTO 4/ Palettes inversées



PHOTO 5/ Buses de « précision »



→ TONNES À LISIER AVEC RAMPE

Pour les « systèmes à rampes », le lisier est refoulé dans un dispositif de répartition, qui l'envoie dans une rampe. Un ensemble de tuyaux flexibles et de canalisations rigides achemine le lisier vers un nombre plus ou moins grand de descentes terminées par des buses, pendillards ou injecteurs.

Une rampe à pendillards est constituée de nombreux tuyaux de descente espacés d'environ 30 centimètres. La MAFOR épandue est déposée à quelques centimètres du sol, à basse pression, selon des lignes parallèles à l'avancement du tracteur. Avec une rampe à pendillards, la largeur d'épandage est de **9 à 18 m**. Elle présente plusieurs avantages et inconvénients cités dans le *Tableau 21*.

TABLEAU 21/ Principales caractéristiques des tonnes à lisier avec rampes à pendillards

Avantages	Inconvénients
Bonne répartition transversale	Obligation de monter un broyeur-répartiteur pour limiter les risques de bouchage
Aucune sensibilité au vent	Coût d'investissement plus élevé
Meilleure maîtrise des odeurs	Pas adapté aux effluents pailleux et épais
Puissance de traction réduite	

PHOTO 6/ Épandage par rampe à pendillards



L'épandage par pendillards n'est pas adapté aux parcelles accidentées dont la pente est supérieure ou égale à 15 % ou 30 % selon les types de matériels. En effet, la pente rend l'épandage moins homogène au niveau des tuyaux de sorties (certains ne recevront pas d'effluents). La fertilisation n'est donc plus optimale.

→ TONNES À LISIER AVEC ENFOUSSEUR

Les sorties de tuyaux sont couplées à un outil de travail du sol qui incise la terre et permet l'injection ou le dépôt de la MAFOR à l'intérieur du sol. La largeur d'épandage peut atteindre jusqu'à 10 m. Les avantages et inconvénients sont présentés dans le *Tableau 22*.

TABLEAU 22/ Principales caractéristiques des tonnes à lisier avec enfouisseur

Avantages	Inconvénients
Bonne répartition sur toute la largeur	Frais d'entretiens élevés sur sols usant (cailloux ..)
Pas de perte d'ammoniac	Pas adapté aux effluents pailleux et épais Risque de bouchage (broyeur + répartiteur recommandé)
Peu de nuisances olfactives	Demande de plus de puissance de traction
	Débit de chantier plus faible qu'avec les pendillards
	Coût d'investissement important

Divers outils de travail du sol sont utilisés en fonction du type de sol et de couvert végétal en place :

- Les enfouisseurs à dents (*Photo 7*) sont adaptés à de nombreuses configurations mais peuvent être pénalisés en présence de résidus végétaux importants. Les constructeurs proposent un large choix de dents et de socles qui permettent de s'adapter aux conditions de terrain.
- Les enfouisseurs à disques (*Photo 8*) sont plus adaptés aux apports sur prairies mais sont pénalisés en terrain caillouteux. En cas de pente, tenir compte du risque de ruissellement, en diminuant la dose d'épandage par exemple.

PHOTO 7/ Enfouisseur à dents



PHOTO 8/ Enfouisseurs à disques



Dans les deux cas, il est recommandé d'utiliser des broyeurs amonts (sur bras de pompage) et avals (avant la rampe de distribution).

À noter une évolution assez récente et peu diffusée à ce jour, la **rampe à patins enfouisseurs** (Photo 9). Elle se situe entre la rampe à pendillards et l'enfouisseur et permet, notamment sur prairie, d'enfouir très légèrement le lisier au sol ou de le positionner au cœur de la plante, sans créer de sillon trop profond. De ce fait les pertes d'ammoniac et les odeurs sont limitées, et la demande en puissance est inférieure à celle nécessaire pour un enfouisseur.

PHOTO 9/ Rampes à patins



► 1.2. LES MATIÈRES PÂTEUSES

Les MAFOR sont considérées comme pâteuses dès lors que leur siccité est comprise entre **18 et 30%**. Le volume épandu est lui compris entre **10 et 50 m³/ha**. Le matériel rencontré pour épandre ce type de matières est un épandeur à **fond poussant** avec caisse et porte étanches. L'épandage est assuré le plus souvent par une turbine ou par des hérissons verticaux avec une table d'épandage. Il présente plusieurs avantages et inconvénients cités dans le *Tableau 23*.

TABLEAU 23/ Principales caractéristiques des épandeurs à fond poussant avec caisse et porte étanches

Avantages	Inconvénients
Possibilité de transporter des MAFOR semi-liquides sans aucune perte lors du transport mais aussi des MAFOR d'une consistance plus solide (fumiers et composts)	Coût d'investissement important
Équipement polyvalent	Poids du matériel peut entraîner des compactations
Épandage possible sur terrain en pente	Nécessite plus d'entretien

Les **dispositifs de déplacement** des MAFOR :

- Les **fonds mouvants** : ils déplacent le fumier vers les organes d'épandage. Animés par des moteurs hydrauliques dont on peut faire varier le débit.
- La **puissance hydraulique** est assurée soit :
 - Par le **tracteur** via son circuit auxiliaire, mais dans ce cas la régularité d'avancement est liée aux capacités du circuit hydraulique du tracteur,
 - Par une **centrale autonome** montée sur l'épandeur (plus courant).

► 1.3. LES MATIÈRES SOLIDES

Les MAFOR solides épandues ont une siccité comprise entre **30 et 70%** et le volume épandu est généralement compris entre **5 et 40 T/ha**. Les matériels rencontrés pour épandre ce type de matières sont les épandeurs à fumier à hérissons horizontaux ou verticaux, avec ou sans table d'épandage.

1.3.1. Les systèmes d'épandages

→ LES ÉPANDEURS À HÉRISSENS HORIZONTAUX

La MAFOR à épandre passe au travers de hérissons horizontaux en bout d'épandeur. L'émiettement est réalisé sur la largeur de l'épandeur. En option, il y a la possibilité d'ajouter une porte hydraulique qui va permettre de réguler le flux de matière dirigée vers les hérissons assurant ainsi une meilleure régularité de la répartition longitudinale.

TABLEAU 24/ Principales caractéristiques des épandeurs à hérisson horizontal

Avantages	Inconvénients
Coût d'investissement réduit	Leur conception limite la largeur d'épandage (2 à 4 m), conséquence : augmentation du nombre de passages et donc du tassement des sols.
Coût d'entretien limité	Quantité apportée 30 T/ha minimum.
Rapidité d'épandage	Non adapté à l'épandage de fumier de volaille riche en éléments fertilisants.
Puissance demandée réduite	

→ LES ÉPANDEURS À HÉRISSENS VERTICAUX

Ce type de matériel est composé de deux hérissons verticaux déchiqueteurs de grand diamètre, légèrement inclinés vers l'avant et qui tournent en sens inverse. La MAFOR solide passe entre les deux hérissons.

PHOTO 10/ Épandeur à hérissons verticaux



TABLEAU 25/ Principales caractéristiques des épandeurs à hérisson vertical

Avantages	Inconvénients
Largeur d'épandage 6 à 12 m	Le coût d'investissement et d'entretien est plus élevé que pour le modèle à hérisson horizontal.
Quantité épandue peut baisser jusqu'à 5 T /ha	Le poids à vide élevé par rapport à la capacité, notamment sur caisse étroite
Bon émiettement	

Le + : une option est prévue pour les deux modèles : la table d'épandage proposée (constituée de 2 ou 4 disques de grand diamètre et à vitesse de rotation élevée) peut être complétée par une hotte arrière. Cette dernière permet des largeurs d'épandage de 12 à 24 m. Cette option rend possible une qualité de répartition transversale, un émiettement et un épandage à faible dose du fait de sa largeur. Par contre, elle est moins adaptée en présence de fumier pailleux et hétérogène.

1.3.2. Qualité de l'épandage : équipements spécifiques et maîtrise de sa régularité

→ CHOISIR LA LARGEUR DES CAISSES

Il existe deux catégories proposées par les constructeurs et comparées dans le *Tableau 26*.

TABLEAU 26/ Principales caractéristiques des caisses d'épandage

	Épandeurs à caisses étroites	Épandeurs à caisses larges
Volume	Volume transporté moins important	Volume transporté plus important
Système de roues	Les roues se trouvent sur les côtés : cette disposition permet la montée de pneus de grand diamètre qui sont plus roulants et demandent un effort de traction moindre. Elles sont plus sujettes au phénomène de voûtage car les tapis sont moins larges.	Les roues se trouvent sous la caisse, leur diamètre est plus faible ce qui implique un effort de traction supérieur et plus de tassement au sol. Dans le cas de trajets longs sur route, prendre en compte le volume transporté (plus important) afin d'optimiser les chantiers d'épandage.
Répartition	Moins bonne répartition longitudinale par rapport aux épandeurs à caisses larges.	Meilleure répartition longitudinale par rapport aux épandeurs à caisses étroites.

→ DES TRAINS ROULANTS ADAPTÉS

- La réglementation autorise un maximum de 16 T de PTAC par essieu (dont 3 sur la flèche).
- Les gros épandeurs sont montés en double essieux parfois en triple, type « booggie, tandem ou balancier », on les retrouve en général sur modèle caisse large.
- La multiplication des essieux équipés de pneus basse pression permet d'augmenter la charge tout en limitant le tassement au sol.

Ces trains roulants se retrouvent aussi sur les épandeurs à lisiers.

→ OBTENIR LE DOSAGE SOUHAITÉ

Une fois la quantité de MAFOR à épandre déterminée, il faut procéder aux réglages de l'épandeur pour s'en rapprocher au plus près.

Pour cela on doit connaître :

La vitesse d'avancement : elle est fournie par le tracteur (dans la majorité des cas), une vérification en fonction des conditions des sols, de la pente (patinage, glissement...) permet de s'affranchir de certaines erreurs.

La largeur d'épandage : elle est dépendante de la MAFOR à épandre, la consistance étant différente d'une matière à l'autre, sa détermination ne peut se faire qu'au champ par le chauffeur.

La quantité chargée dans l'épandeur (tonnes) : celle-ci peut être approchée en multipliant le volume du matière chargée (m³) par sa densité, exemple : 15 m³ * 750 kg = 11 T.

Le réglage du débit de l'épandeur se fait en réglant la vitesse du tapis via la molette. À chaque position correspond une vitesse d'avancement que l'utilisateur doit connaître.

Pour aider l'utilisateur à approcher le bon réglage des aides sont proposées sous forme d'abaques : Cormireg fumier ou des applications comme Eband'App développée par la Chambre d'agriculture de Bretagne (fonctionne sur android).

Les systèmes DPA (Débit Proportionnel à l'Avancement) : le DPA est un calculateur qui permet de faire varier la vitesse du tapis donc le débit (kg/s) en fonction de la vitesse d'avancement. Ce principe est largement développé et maîtrisé techniquement sur les épandeurs d'engrais minéraux. On retrouve également ce système sur les épandeurs organiques (liquides ou solides).

La pesée permet de connaître le poids de MAFOR chargée qui sert au calcul de débit instantané. Des capteurs de pesée permettent de connaître en continu la masse de matière dans la caisse et donc de faire varier le débit instantané pour atteindre l'objectif de tonnage par hectare.

Ces systèmes sophistiqués, d'un coût élevé, sont peu présents dans le matériel des utilisateurs. Pourtant, ils apportent indéniablement un plus dans la recherche d'un épandage de qualité permettant de mieux valoriser la valeur fertilisante de ces MAFOR pour les cultures.

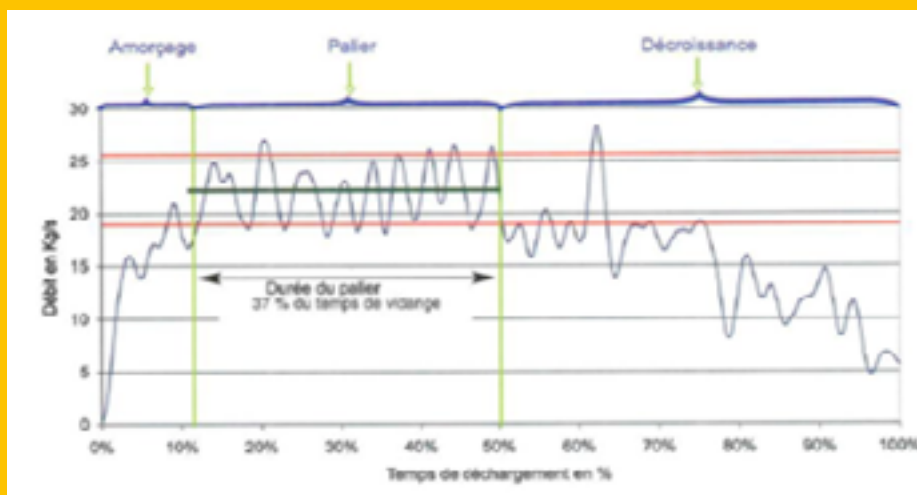
→ ÉVALUER LA RÉPARTITION DE LA MAFOR ÉPANDUE

La répartition de la MAFOR derrière l'épandeur a son importance. Elle contribue à un apport optimal permettant une distribution spatiale homogène des éléments fertilisants apportés par la MAFOR.

Du fait de la diversité et de l'extrême variabilité physique des MAFOR, il est difficile d'atteindre une bonne répartition longitudinale et transversale que ce soit avec des matières solides ou pâteuses.

La répartition longitudinale

Une caisse d'épandeur classique à fond mouvant se vidange en général en 3 phases :



1 – L’amorçage : il correspond à l’approche de matière vers les hérissons après la mise en route du tapis.

2 – Le palier : les hérissons sont pleinement alimentés, c’est la période où l’épandage est le plus régulier à condition que le chargement de la caisse soit homogène. Cette phase représente 30 et 65 % du temps total d’épandage (mesures réalisées lors de tests).

3- La décroissance : elle indique la fin de la vidange. Les hérissons sont de moins en moins alimentés. Sa durée varie en fonction des caractéristiques de la MAFOR et des dimensions de la caisse.

L’existence de ces 3 phases a pour conséquence une répartition longitudinale peu satisfaisante. Durant les phases d’amorçage et de décroissance, c’est donc au chauffeur de corriger le défaut de répartition en faisant varier la vitesse d’avancement ou celle du tapis.

Afin de réduire la phase de décroissance, les constructeurs proposent un tablier accompagnateur qui évite l’éboulement de la MAFOR et la guide vers les hérissons. Ainsi le palier pourra durer jusqu’à 90% du temps total d’épandage (au lieu des 30 à 65 % habituels de cette phase).

La répartition transversale

Comme pour les épandeurs d’engrais minéraux, le coefficient de variation permet de mesurer, lors des tests, l’homogénéité de l’épandage transversal.

Plus le coefficient est faible, plus la répartition est régulière : par exemple, pour les fumiers de bovin, l’objectif des réglages est d’atteindre un coefficient inférieur à 30 %.

La répartition transversale évolue en fonction du fumier épandu et du matériel d’épandage.

→ DEUX COURBES TYPE D’ÉPANDAGE :

Les répartitions en M : On trouve plus de fumier derrière le passage des roues et sur les côtés qu’au centre de l’appareil.

FIGURE 26/ Répartition en M ou en dôme



Les répartitions en dôme (forme triangulaire ou trapézoïdale) : le fumier se concentre plutôt au centre et moins sur les côtés.

Les épandeurs à hérissons verticaux ont tendance à former une courbe en M avec des fumiers lourds et compacts et, en dôme avec des fumiers plus légers (volailles...).

Dans la pratique, afin d’avoir un épandage homogène, le chauffeur doit à « l’œil » pratiquer un recouvrement du passage précédent en passant à la limite de ce dernier.

► 2. LA CERTIFICATION ÉCO-ÉPANDAGE²

Les constructeurs sont à l'origine d'une certification « **éco-épandage** » de leur matériel. Cette certification permet de **garantir les performances des épandeurs** de fumiers ou de lisiers. Un référentiel introduit et précise les performances qu'ils doivent atteindre (celles-ci étant supérieures aux normes EN 13806 et EN 13080 en vigueur). Pour être certifiées, les machines passent au banc d'essais de l'IRSTA afin de vérifier que les performances annoncées par le constructeur correspondent à la réalité. »

Le *Tableau 27* indique quelques critères de performance de la certification par rapport aux normes en vigueur.

TABLEAU 27/ Critères de performance de la certification

Épandeurs matières solides		Éco-épandage	EN 13806 et EN 13080
Maîtrise de la dose ZT	Vitesse constante	+/- 15%	aucune exigence
	Vitesse variable	+/- 15%	aucune exigence
Répartition transversale	Coefficient variation	≤ 20%	≤ 30%
Répartition longitudinale EZT	Vitesse constante	≥ 70%	≥ 35%
	Vitesse variable	≥ 50%	aucune exigence
Épandeurs matières liquides		Éco-épandage	EN 13806 et EN 13080
Maîtrise de la dose ZT	Vitesse constante	+/- 10%	aucune exigence
	Vitesse variable	+/- 15%	aucune exigence
Répartition transversale	Coefficient variation	≤ 15%	≤ 15%
Répartition longitudinale EZT	Vitesse constante	≥ 90%	≥ 90%
	Vitesse variable	≥ 65%	≥ 50%
		Éco-épandage	EN 13806 et EN 13080
Respect des sols	Charge/essieu	≤ 13 t	aucune exigence
	Pression au sol	≤ 1,5 bars	aucune exigence

D'autres exigences sont à prendre en compte dans ce référentiel :

- Une notice d'utilisation pour optimiser la machine.
- L'assistance du revendeur pour la mise en route de la machine.
- Une proposition de formation pour l'utilisateur de la machine.
- Un audit initial suivi d'audits de surveillance de l'outil de production des fabricants
- Une enquête de satisfaction

TABLEAU 28/ Récapitulatif des caractéristiques du matériel d'épandage

	Types de MAFOR	Avantages	Inconvénients	Intervalles de doses
Tonnes à lisier avec buse palette	Liquides	Investissement limité Utilisation simple Peu de risque de bouchage Débit important Aucune contrainte de terrain Poids réduits Puissance de traction réduite	Répartition transversale très moyenne Nuisances olfactives conséquentes et perte d'azote (éviter d'épandre avec du vent)	30 m ³ /ha
Tonnes à lisier avec rampe à pendillards	Liquides	Bonne répartition transversale Aucune sensibilité au vent Meilleure maîtrise des odeurs Puissance de traction réduite	Obligation de monter un broyeur répartiteur pour limiter les risques de bouchage Coût d'investissement plus élevé	15 m ³ /ha
Tonnes à lisier avec enfouisseur	Liquides	Bonne répartition sur toute la largeur Pas de perte d'ammoniac Peu de nuisances olfactives	Frais d'entretien élevés Risque de bouchage (broyeur + répartiteur recommandé) Demande de plus de puissance de traction Débit de chantier plus faible qu'une rampe à pendillards Coût d'investissement important	15 m ³ /ha
Épandeurs à fond poussant avec caisse et porte étanches	Pâteux	Possibilité de transporter des MAFOR semi-liquides sans aucune perte lors du transport mais aussi des MAFOR d'une consistance plus solide (fumiers et composts) Équipement polyvalent Épandage possible sur terrain en pente	Coût d'investissement important Poids du matériel peut entraîner des compactations Nécessite plus d'entretien	Entre 10 et 50 m ³ /ha
Les épandeurs à hérissons horizontaux	Solides	Coût d'investissement réduit Coût d'entretien limité Rapidité d'épandage Puissance de traction	Leur conception limite la largeur d'épandage (2 à 4 m), conséquence : augmentation du nombre de passages et donc du tassement des sols. Non adapté à l'épandage de fumier de volaille riche en éléments fertilisants.	30 T/ha minimum
Les épandeurs à hérissons verticaux	Solides	Largeur d'épandage 6 à 12 m Quantité épandue peut baisser jusqu'à 5 T /ha Bon émiettement	Le coût d'investissement et d'entretien est plus élevé que pour le modèle à hérisson horizontal	Entre 5 et 40 T/ha





À RETENIR

Selon les MAFOR à disposition, le type de matériel adapté diffère.

Au vu des investissements nécessaires et pour un épandage de qualité, les achats en commun de matériel ou l'appel à un prestataire est une solution recommandée en l'absence d'outils sur l'exploitation.

Le producteur d'un déchet en est responsable jusqu'à sa destination finale (par exemple le sol).



Sources et références bibliographiques

- 1) Les épandeurs d'effluents d'élevage description des machines et des dispositifs d'épandage, Projet AAP CAS DAR n°9109/9027
http://www.rmtfertilisationenvironnement.org/moodle/pluginfile.php/1809/mod_resource/content/5/Materiel_d_epandage.pdf
- 2) <http://www.eco-epandage.com/>



RAISONNER L'APPORT D'UNE MAFOR

Raisonner l'apport d'une MAFOR, c'est faire la synthèse entre les besoins du sol, la stratégie d'apport et les caractéristiques de la MAFOR. Toutefois, ce raisonnement ne peut être opérant, qu'une fois les **trois conditions** suivantes réunies :

- 1) J'ai évalué l'état de santé de mon sol,
- 2) J'ai identifié mes objectifs en adéquation avec une stratégie d'apport,
- 3) Je connais les paramètres à vérifier sur les MAFOR pour choisir une MAFOR adaptée à ma situation

1. ÉTAPE 1 : « MON SOL : OÙ EN EST-IL ? »

Rappel des différents outils de diagnostic pour apprécier l'état de santé du sol (voir chapitre 2).

Avant tout apport de MAFOR sur son sol, la première démarche à entreprendre est de bien le connaître. Il s'agit d'**optimiser** et d'**adapter** les nouveaux **apports** en fonction d'objectifs bien identifiés en lien avec la culture, les pratiques et les équipements présents sur l'exploitation.

Dans un précédent chapitre, il a été précisé que la fertilité des sols repose sur trois composantes étroitement liées : chimique, biologique et physique.

La composante biologique de la fertilité influe sur l'état physique du sol, sur la quantité et la qualité des MO et sur la disponibilité des éléments nutritifs.

TABLEAU 29/ Synthèse des propriétés du sol

Propriétés du sol	Critères/indicateurs du sol	Outils d'analyses	Les leviers
Physique Un état structural favorable	- état structural - compaction - hydromorphie - état organique (teneur en MO)	L'observation du terrain	Diversité des cultures et rotation Technique de travail du sol
Chimique Un sol équilibré	- pH, - teneur en éléments minéraux	L'analyse de sol de routine L'analyse biologique du sol	Limiter les pertes de MO en incorporant des résidus de culture
Biologique Un sol vivant	- C/N - qualité de la matière organique (MO actives grossières/MO stables fines) - activité microbienne (biomasse microbienne)	Les plantes bio-indicatrices	Apport de matières organiques extérieures

Rappel des principaux indicateurs à analyser pour apprécier la nature de la MO du sol (voir chapitre 2):

- **La Biomasse Microbienne (BM)**

Elle représente la quantité de « carbone vivant » contenue dans les microbes du sol, essentiellement bactéries et champignons. Elle constitue un indicateur précoce de la dynamique de la MO qui réagit vite aux réactions favorables ou défavorables du milieu.

La BM varie de 0 à plus de 1000 mg de C/kg de terre en sols cultivés.

- **Le rapport BM/Carbone organique**

Le rapport BM/Carbone organique d'un sol, est un paramètre qualitatif important pour apprécier le fonctionnement du sol. Ce paramètre apprécie la qualité nutritionnelle de la MO du sol, ainsi que la qualité de l'environnement chimique et physique de la biomasse microbienne.

Le rapport BM/C varie en 0 et 5 %. Les valeurs les plus faibles signalent un environnement physique défavorable à la vie (compaction, tassement, hydromorphie), un environnement chimique défavorable (pH acide, déficit en calcium, toxicité cuprique, etc.), plus généralement, un manque ou une mauvaise qualité des restitutions organiques.

Exemple : Les MAFOR trop stabilisées, pas assez énergétiques (= riches en carbone) ne sont pas favorables au développement de la vie microbienne.

- **Fractionnement des MO du sol : la MO libre et la MO liée**

L'analyse compartimentale des MO permet une meilleure visualisation de la qualité des MO du sol. La répartition des fractions oriente vers le choix de la MAFOR adaptée.

Le fractionnement granulométrique consiste à séparer les MO en fonction de leur taille et de leur densité, et donc d'identifier la part des matières organiques dites « libres » de la part des matières organiques dites « liées ».

L'équilibre des compartiments libres et liés permet d'apprécier les réserves organiques sur le long terme en comparaison avec les réserves à plus court terme.

Un déséquilibre peut venir de restitutions organiques trop faibles (trop d'exportations) ou d'une consommation rapide des MO fraîches (sol très travaillé par exemple).

La MO libre représente des particules de 50 à 2000 micromètres de diamètre. Elle participe à la fertilité du sol en « nourrissant » la biomasse microbienne qui, elle-même, participe à la nutrition des plantes en azote, phosphore. Elle représente le principal apport d'énergie pour la vie du sol. Un manque de nourriture peut se traduire par un faible développement de la vie du sol, une mauvaise dynamique de consommation des MO et donc s'accompagner d'une faible mise à disposition des éléments minéraux pour les plantes.

La MO liée aux argiles et limons et dont la taille des particules est inférieure à 50 micromètres, constitue l'humus stable du sol aux fonctions essentiellement structurantes. Le rapport C/N de la MO liée est faible, indiquant des humus bien évolués, fonctionnels, libérant assez facilement de l'azote.

Une teneur faible en MO liées (les plus stables dans le temps) est préjudiciable pour le sol et les cultures, car de nombreuses propriétés agronomiques s'en trouvent affectées : érosion des sols de par la fragilité des agrégats et difficulté à obtenir une bonne stabilité structurale, faible stock potentiel de fourniture d'éléments minéraux (N,P,..) du sol aux plantes, faible résistance aux stress



environnementaux (sécheresse...).

- **La minéralisation du carbone et de l'azote**

L'objectif est d'estimer les réserves de MO potentiellement dégradables du sol, c'est à dire les réserves énergétiques facilement accessibles à la biologie et la stabilité de la MO, ainsi que l'azote potentiellement disponible pour les plantes.

L'activité de la MO du sol est déterminée par le calcul d'un indice de minéralisation du carbone (proportion de carbone actif pour 100 g de carbone total). Le rapport C minéralisé sur la biomasse caractérise la capacité respiratoire de la biomasse et précise son fonctionnement.

Les valeurs les plus faibles de minéralisation du carbone signifient de faibles réserves énergétiques du sol : il faut apporter des MAFOR facilement dégradables pour stimuler la biologie.

La quantité d'azote minéralisé approche le potentiel minéralisateur de l'azote du sol. L'azote minéralisé après 28 jours dans des conditions standardisées et optimisées pour l'activité biologique permet d'apprécier le potentiel minéralisateur d'azote du sol.

La minéralisation de l'azote permet d'avoir une estimation du potentiel de fourniture d'azote du sol (à utiliser avec prudence).

Ces types d'analyses permettent de faire le choix de la MAFOR à apporter en fonction des résultats obtenus : MAFOR stabilisées ou non et d'orienter le travail du sol (qui favorise la minéralisation de la MO).

2. ÉTAPE 2 : QUELS SONT MES OBJECTIFS ET MA STRATÉGIE ?

Dès lors que je connais mon sol, je peux passer à l'étape suivante en fonction de mes objectifs cultureux et ainsi définir ma stratégie d'apport.

L'approche du raisonnement d'un apport organique peut se faire à différents niveaux, selon que :

- mes sols sont plus ou moins vivants,
- ma MO stable est plus ou moins bloquée,
- mes résidus de récolte se dégradent plus ou moins bien.

Quel va donc être la meilleure MAFOR adaptée à mon sol si :

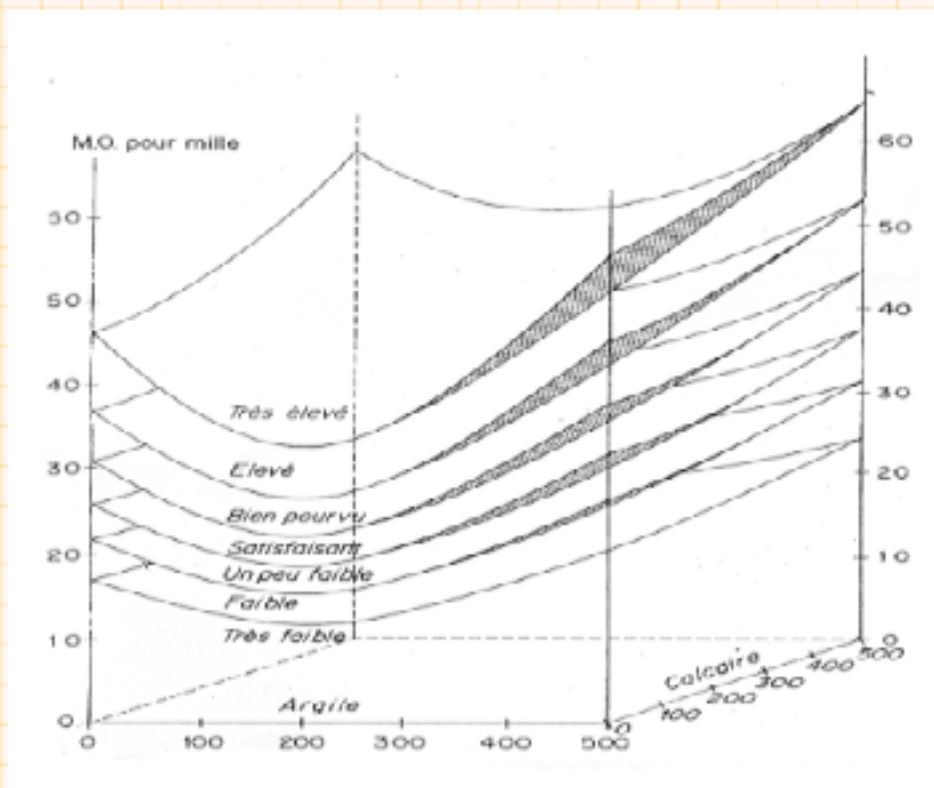
- **J'ai une teneur en MO très basse et je souhaite la relever (1^{er} niveau).** Je souhaite relever la teneur en MO de mes sols à cause de problèmes de structures, de rendement, d'une volonté d'entretien de la teneur en MO, ou de stockage du carbone (par exemple dans le cadre de l'objectif 4 pour 1000, qui vise à augmenter le taux de MO dans les sols pour compenser les effets du changement climatique): choix d'un amendement organique.
- **J'ai une teneur en MO correcte et je souhaite la maintenir** et fertiliser ma culture avec des MAFOR (2^{ème} niveau) : choix d'engrais organique dans le cas de sol correctement pourvu en MO, mais avec des corrections à faire en éléments fertilisants. L'engrais permet de viser une satisfaction des besoins de la culture. Un amendement peut aussi être apporté à plus faibles doses dans un objectif d'entretien de la MO.
- **J'ai une teneur en MO correcte et je souhaite améliorer** la fertilité biologique de mes sols (3^{ème} niveau) : choix de MAFOR fraîches en priorité pour stimuler l'activité microbienne.

Taux minimum de MO dans l'horizon de sol cultivé

- Vigne et arboriculture : 1,2 %
- Maraichage : 2 %
- Prairies : 4 %
- Grandes cultures : 1,5 %

Cet objectif est une base de travail et de raisonnement (techniquement, financièrement, agronomiquement acceptable). Aucun seuil de teneur en MO n'est établi dans l'absolu. Dans la pratique, l'idée est de **veiller au moins à ce que le stock de MO de son sol ne diminue pas** (pour éviter une dégradation sur le moyen et long terme), voire de **se donner un objectif de rehaussement**.

FIGURE 27/ Taux de MO souhaitable en fonction des teneurs en argile et en calcaire



(Source : Rémy et Marin-Lafèche, 1974)

3. ÉTAPE 3 : QUELS PARAMÈTRES VÉRIFIER SUR LES MAFOR ?

Face à un choix varié de MAFOR normées et/ou issues de la ferme, comment choisir celle qui va répondre aux besoins du sol et à la stratégie d'apport décidée ?

Dans le cas de MAFOR répondant aux exigences d'une norme AFNOR, l'analyse ou l'étiquette, représentative du lot considéré, est l'outil de base qui renseigne sur les caractéristiques agronomiques de la MAFOR et sur sa capacité à répondre aux besoins des agriculteurs. Elle permet aussi de comparer les matières entre elles (voir chapitre 4). Toutefois, bien qu'indispensables, les analyses ou étiquettes des MAFOR ne suffisent pas à connaître tout leur potentiel amendant et fertilisant.



Les marquages obligatoires liés à la composition d'un produit normé sont les suivants :


- Dénomination
- Composition
- Dose d'emploi
- Liste des matières premières représentant plus de 5 % en masse avant mélange et/ou avant transformation
- Teneurs en matière sèche, matière organique, azote total et azote organique non uréique
- C/N total
- Teneurs en K₂O et P₂O₅ si supérieures ou égales à 0,5 % sur la matière brute
- Teneurs en Cu et Zn, sur le brut, en cas de dépassement des seuils (dérogation possible pour ces deux éléments, s'ils sont supérieurs à leur valeur limite, avec mention spécifique à stipuler)

Peuvent également être indiqués facultativement :

- le mode d'obtention
- les matières premières représentant moins de 5 % en masse sur la matière brute
- la composition granulométrique
- les résultats de l'ISMO (Indice de Stabilité de la MO) et de la minéralisation potentielle du carbone et de l'azote
- l'effet alcalinisant par incubation (permettant de déterminer la valeur neutralisante (VN) du produit)

Sur les documents ci-dessous, les paramètres nécessaires au raisonnement de la quantité à apporter, d'un point de vue agronomique, sont les suivants :

FIGURE 28/ Exemple de fiche produit d'un compost de biodéchets

		
AMENDEMENT ORGANIQUE conforme à la norme NFU 44-051		Mention de la norme à laquelle le produit est soumis
COMPOST certifié « Matière fertilisante utilisable en AGRICULTURE BIOLOGIQUE » conformément au référentiel I – 302, certifié Qualité France SA Immeuble Le Guillaumet 92046 PARIS LA DEFENSE CEDEX		
Dénomination du type	Compost vert et Compost de fermentescibles alimentaires et/ou ménagers (rubriques 4 et 5 de la norme NFU 44-051)	Dénomination : détermine les analyses obligatoires à effectuer
Origine des entrants	Biodéchets et Déchets verts	
Analyses du lot	Voir au verso	
Nature du produit	Compost urbain mûr	
Lot n°	B47	Numéro du lot : chaque lot doit être bien identifié et analysé avant commercialisation
Adresse de vente		
Utilisation	Ne pas dépasser les doses préconisées : <u>Pour les cultures en « agriculture biologique » :</u> Ne pas dépasser 170 kg d'azote par hectare soit pour ce lot ne pas épandre plus de 0.8 kg/m² de compost par an ; <u>Pour les autres cultures :</u> Ne pas épandre plus de 3.5 kg/m² de compost par an et 12 kg/m² de compost en 10 ans. 1 m ³ de compost représente environ 625 Kg de compost Stocker le compost dans un lieu sec et abrité. Ne pas ingérer. Se laver et se sécher les mains après usage	Doses d'emploi calculées en fonction des flux réglementaires en ETM et CTO

ANALYSES DU LOT DE COMPOST N°B47

		Paramètres	Unité	Résultats
Intérêt agronomique	Chimique	pH		9.4
		Matière sèche	g/kg	44.3
		Matière organique	g/kg	18.9
		Azote total	g/kg	9.8
		Azote organique		9.6
		Rapport C/N	g/kg	9.6
		Phosphore total	g/kg	5
		Potassium total	g/kg	7
		Calcium total	g/kg	57.4
		Magnésium total	g/kg	8.1
Autres éléments analysés (dont les faibles taux ont permis l'obtention de la certification)	Eléments TO.4race métalliques	Arsenic	mg/kg MS	4.5
		Cadmium	mg/kg MS	0.4
		Chrome	mg/kg MS	21.1
		Cuivre	mg/kg MS	86.2
		Mercur	mg/kg MS	0.1
		Nickel	mg/kg MS	16.6
		Plomb	mg/kg MS	64.7
		Sélénium	mg/kg MS	<3.1
		Zinc	mg/kg MS	147.2
		Micro biologique	Œufs d'helminthes viables	U/1.5g MB
	Listeria monocytogènes		U/25g MB	0
	Entérocoques		U/g MB	3218
	Salmonella		U/25g MB	0
	Escherichia Coli		U/g MB	50
	Fluoranthène		mg/kg MS	0.2
	Inertes	Benzo(B)Fluoranthène	mg/kg MS	0.1
		Benzo(A)pyrène	mg/kg MS	0
		Films et PSE > 5 mm	% MS	0.1
		Autres plastiques > 5 mm	% MS	0.1
			Verres et métaux > 2 mm	% MS

Indicateurs physico-chimique de la MAFOR :
 - pH, quantité d'eau, quantité de matière organique,
 - Rapport C/N,
 - Quantité d'éléments fertilisants

Ce sont des indicateurs intéressants mais pas suffisants pour analyser le profil de la MAFOR et le comparer à d'autres !

Indicateurs d'innocuité :
 - Éléments Traces Métalliques
 - Composés Traces Organiques
 - Micro-organismes pathogènes et indicateurs de traitement
 - Inertes

Leur marquage sur l'étiquette ou la fiche produit et facultatif mais il est conseillé de demander ces éléments aux producteurs.

N'hésitez pas à demander le rapport d'analyse du laboratoire pour avoir l'analyse complète.

**FIGURE 29/** Exemple d'une analyse d'effluent d'élevage

Caractérisation de la valeur agronomique			sur sec	sur brut	INDICATEURS PHYSICO-CIMIQUES :
Paramètres physico-chimiques et matière organique					
Humidité	NF EN 12880	%		74,2	
Matière sèche	NF EN 12880	%		25,8	
Matières minérales	NF EN 12879	%	29,1	7,5	
Matières organiques	NF EN 12879	%	70,9	18,3	
Carbone organique	Calcul	%	35,5	9,1	
Conductivité	Méthode interne	dS/m		3,64	Teneur en azote total Teneur en azote ammoniacal
Valeur azotée					
Azote Kjeidahl	NF EN 13342	% N	2,27	0,586	Donne une indication sur la part d'azote immédiatement disponible pour la plante Rapport C/N Indicateur du degré d'évolution de la MO, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol
Azote ammoniacal	Méthode interne	% N	< 0,020	< 0,001	
Azote organique	Calcul	% N	2,27	0,586	
Azote organique non uréique	Calcul	% N		-	
Rapport N organique non uréique/N total	Calcul			-	
Rapport C / N	Calcul			15,6	
MO / N orga	Calcul			31,2	Quantité d'éléments fertilisants Permet de piloter la fertilisation organique
Eléments majeurs (après mise en solution à l'eau régale selon NF EN 13346)					
Phosphore	NF EN ISO 11885	% P ₀₅	1,33	0,34	
Potassium	NF EN ISO 11885	% K ₂₀	3,51	0,91	
Calcium	NF EN ISO 11885	% Ca ₀	6,73	1,74	
Magnésium	NF EN ISO 11885	% Mg ₀	1,02	0,26	
Soufre	NF EN ISO 11885	% S ₀₃	1,12	0,29	
Sodium	NF EN ISO 11885	% Na ₂₀	0,16	0,040	
Correspondance g / kg (équivalent kg / tonne)					Correspondance des valeurs du dessus en kg/tonne d'effluent apporté
Matière sèche	NF EN 12880	g / kg		257,9	
Matières organiques	NF EN 12879	g / kg	709,2	183,0	
Azote Kjeidahl	NF EN 13342	g N / kg	22,7	5,86	
Azote organique	Calcul	g N / kg	22,7	5,86	
Azote ammoniacal	Méthode interne	g N / kg	< 0,200	< 0,010	
Phosphore	NF EN ISO 11885	g P ₂₀₅ / kg	13,3	3,4	
Potassium	NF EN ISO 11885	g K ₂₀ / kg	35,1	9,1	
Calcium	NF EN ISO 11885	g Ca ₀ / kg	67,3	17,4	
Magnésium	NF EN ISO 11885	g Mg ₀ / kg	10,2	2,6	
Soufre	NF EN ISO 11885	g S ₀₃ / kg	11,2	2,9	

Pour autant, ces paramètres ne sont pas suffisants pour apprécier complètement l'utilité et la praticité d'une MAFOR :

- Le **taux de MS** renseigne sur le type d'outil qu'il faudra utiliser pour épandre et les volumes nécessaires. Pour aller plus loin, il faut connaître la **densité** ou **masse volumique** ($m^3/tonne$).
- La **teneur en MO** renseigne sur la richesse en MO, un paramètre souvent mis en avant par les producteurs de MAFOR. Ce paramètre n'est pas suffisant pour connaître son état de maturité et sa stabilité. Pour aller plus loin, il faut connaître son **ISMO**.
- Le **rapport C/N** renseigne sur la vitesse de minéralisation pour les matières non transformées (boues, effluents, fumiers, etc.).
- Plus le rapport est élevé, moins l'azote est rapidement disponible.
- $C/N < 8$: la vitesse de décomposition s'accroît : la matière libère rapidement ses éléments et se décompose comme un engrais : apports d'éléments minéraux directement utilisables.
- $C/N > 8$: (plus de carbone que d'azote) : effet amendement avec une dégradation lente : moins d'élément fertilisants mais augmentation du taux d'humus donc amélioration de la structure du sol et des qualités physiques du sol (amélioration de la rétention d'eau et des éléments fertilisants, résistance à la sécheresse) mais aussi chimique et biologique grâce à la MO stable (humus).

Cet indicateur de la dynamique de décomposition de la MO peut trouver ses limites sur les matières transformées.

- La **teneur en azote total** renseigne sur la richesse en azote sous toutes ses formes (nitrique, ammoniacale, organique). Or seule une partie de cet azote total sera disponible pour la culture. Pour aller plus loin, il faut connaître le **coefficient d'équivalence engrais azoté (Keq N)** de la MAFOR. Ce paramètre est d'autant plus important si la fertilisation organique fait partie des objectifs ou si l'apport se fait en zone vulnérable.
- De même pour la **teneur en P_2O_5** , pour aller plus loin, il faut connaître le **coefficient d'équivalence engrais phosphaté (Ke P_2O_5)** de la MAFOR.
- Il existe aussi un coefficient d'équivalence engrais potassique (Keq K_2O), mais il est généralement égal à 1.

Tous ces paramètres sont détaillés dans le chapitre 4 de ce guide. Les Keq N des MAFOR sont référencés en annexe.

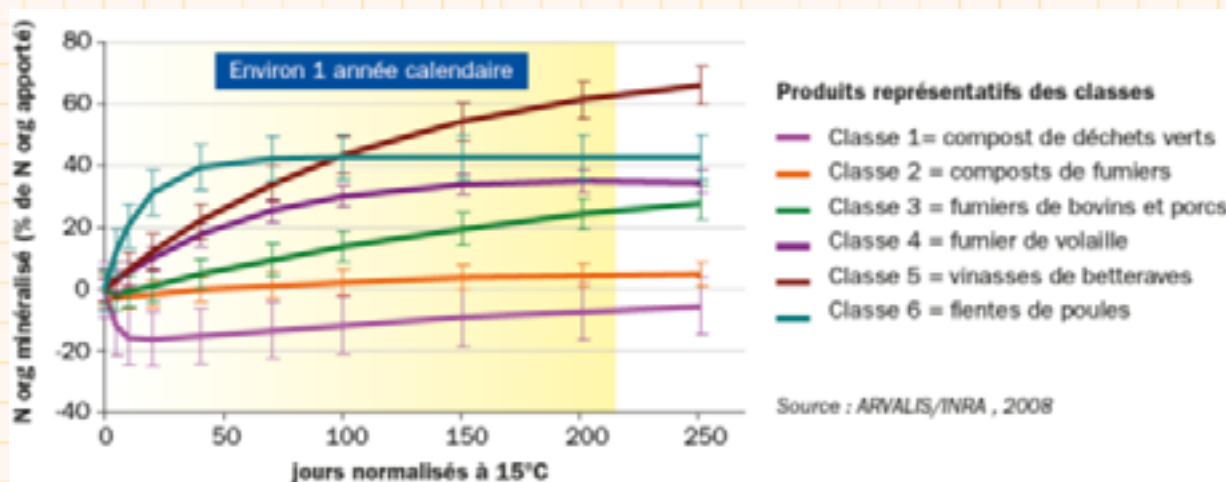
Les critères d'innocuité (ETM, CTO) sont également très importants à prendre en compte lorsqu'il s'agit de choisir une MAFOR (voir chapitre 4).

Ce qu'il faut retenir :

- Plus une MAFOR contient des matières solubles, plus elle est minéralisée rapidement et moins sa capacité à fournir de l'humus est importante. C'est le cas des fientes de volailles, des farines de plumes et d'une manière plus large, des engrais organiques ou organo-minéraux.
- Si l'objectif est de fertiliser votre culture, vous choisirez des MAFOR ayant un profil riche en matières solubles et en hémicellulose (molécules donnant de la rigidité aux tissus végétaux) qui auront une vitesse de minéralisation rapide (engrais organiques ou organo-minéraux, fientes de poules séchées,...).
- En revanche, plus une MAFOR contient de la cellulose et de la lignine, moins sa minéralisation est rapide et plus sa fourniture en humus stable est importante, ce qui est le cas des fumiers compostés et des amendements organiques.
- Si l'objectif est d'augmenter le taux de MO ou de chercher un effet structure sur le sol, vous choisirez un amendement organique (exemple : compost de DV) ou une MAFOR d'origine agricole compostée (exemple : compost de fumier,...).



FIGURE 30/ Rappels des classes de cinétique de minéralisation de l'azote



Classe	Type de MAFOR	Exemples	Utilisation
1	MAFOR partiellement humifiée . L'utilisation du C par les microorganismes du sol nécessite de l'azote qui sera puisée dans le sol. Risque de faim d'azote sur les cultures en place.	Compost de DV, marc de distillerie, boues papetières.....	Amendements organiques bien stabilisés avec un fort potentiel amendant, à privilégier pour structurer et enrichir durablement le sol en MO.
2	MAFOR partiellement humifiée . L'utilisation du C par les microorganismes du sol nécessite de l'azote qui sera puisée dans le sol. Risque de faim d'azote sur les cultures en place.	Composts de fumiers, compost de OM...	
3	Carbone facilement utilisable par les microorganismes, libération progressive d'azote	Fumiers frais, lisiers	MAFOR avec une minéralisation rapide, qui permettent de relancer l'activité biologique du sol (stimulation de la biomasse microbienne) et d'apporter rapidement des éléments nutritifs à la culture.
4	MAFOR riche en N minéral et organique rapidement minéralisable , contenant du C facilement utilisable par les microorganismes du sol	Fumiers de volaille, boues urbaines	
5	Peu de C, beaucoup d'azote	Vinasses de sucrerie	
6	Fientes de volailles riches en N minéral et ne contiennent que très peu de carbone		

4. ÉTAPE 4 : CONCRÈTEMENT, COMMENT RAISONNER UN APPORT ?

Beaucoup d'éléments rentrent en ligne de compte lorsqu'il s'agit de raisonner un apport de MAFOR : les besoins du sol, la stratégie d'apport, les caractéristiques des MAFOR... mais pas seulement. Même avec un amendement, il faudra passer le raisonnement du bilan de fertilisation au crible (NPK), surtout en zone vulnérable. D'autres éléments extérieurs viennent aussi s'ajouter à la réflexion purement agronomique.

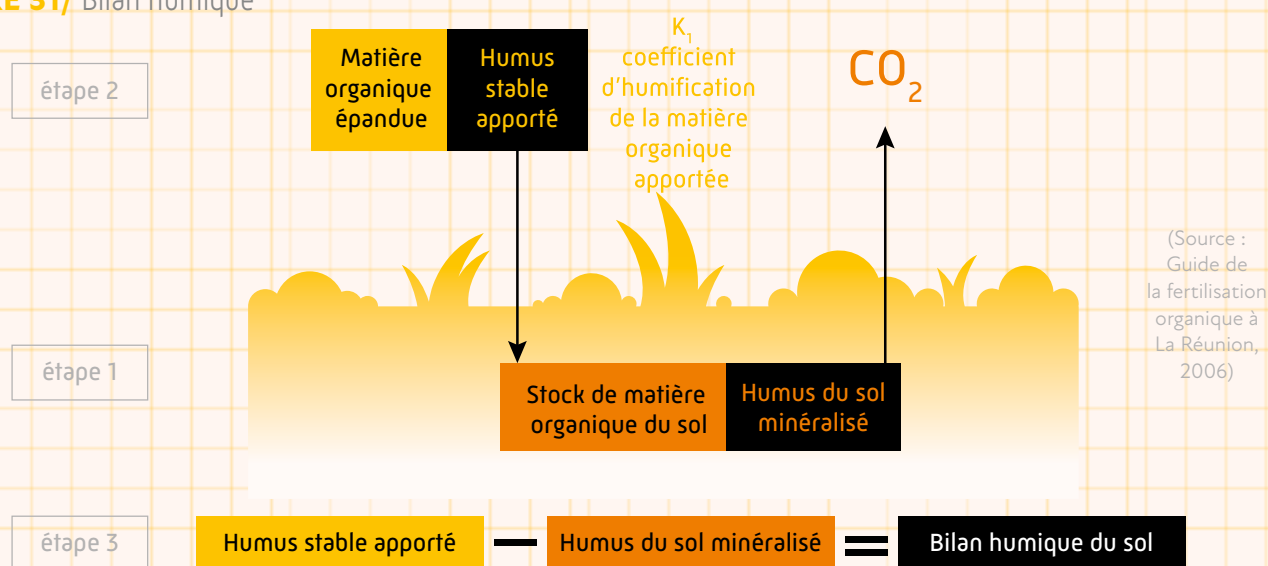
Les points suivants sont les principaux éléments servant à piloter un apport de MAFOR :

- **Bilan humique** : De quelle quantité de MO le sol a-t-il besoin ?
- **Bilan de fertilisation** : Quelles quantités d'éléments fertilisants efficaces seront amenées par la MAFOR choisie ?
- **Éléments logistiques** : matériel d'épandage, lieu de stockage, temps de trajets, etc.
- **Coûts** : achat de la MAFOR, coût du chantier d'épandage
- **Réglementation** : Respect des flux cumulés en ETM et CTO, respect de la réglementation en Zone vulnérable, etc. (voir chapitre 5).

Zoom sur le bilan humique

Le bilan humique consiste à sommer, sur une période donnée correspondant en général à une rotation ou à une période définie dans le cadre de cultures pérennes, les « entrées » et les « sorties » d'humus. L'objectif est d'évaluer les besoins du sol en matières organiques.

FIGURE 31/ Bilan humique



Étape 1 : évaluer la quantité de matière organique du sol minéralisée. Elle est calculée en appliquant le coefficient K_2 de destruction annuelle de la matière organique (d'où une diminution du stock organique du sol)

Étape 2 : évaluer la quantité d'humus issue d'un apport de matière organique. Elle est calculée en appliquant le coefficient K_1 ou l'indice ISMO. L'humus issu de l'apport organique vient enrichir le stock de matière organique du sol (d'où une augmentation du stock organique du sol).

Étape 3 : Calculer la variation du stock organique du sol (étape 1 - étape 2).

Le bilan humique peut être **négatif** : cela signifie qu'il faut modifier les façons culturales pour éviter la baisse de la teneur organique du sol (par exemple, augmenter l'apport de matières organiques amendantes, limiter les travaux culturaux qui accélèrent la minéralisation...). Le bilan peut être **positif** : le sol s'enrichit en matière organique, ou **équilibré** : le stock organique du sol est maintenu.



Les quantités d’humus « entrantes » résultent de la transformation dans le sol (humification) des matières organiques apportées ou restituées (résidus de cultures, amendements organiques...). Les quantités « sortantes » proviennent de la minéralisation de l’humus, dégradé par les organismes du sol.

Un bilan négatif indique que le stock de carbone organique du sol tend à baisser. L’état d’équilibre théorique est atteint quand les pertes (« sorties ») sont compensées par les restitutions (« entrées »).

Ce calcul reste théorique, il peut donner un ordre de grandeur mais il ne renseigne pas sur le type de MO (liées, libres, etc.) qu’il faut apporter.

Il existe des logiciels de gestion des matières organiques à l’échelle de la parcelle (INRA, Arvalis, etc.) qui utilisent des modèles mathématiques dérivés du bilan humique. Ces logiciels utilisent notamment des formules pour calculer le **coefficient de minéralisation K_2** . En région Occitanie, le K_2 peut varier de 1,5% à 2 %.

EXEMPLE DE CALCUL D’UN BILAN HUMIQUE

Les données utilisées dans cet exemple se trouvent dans l’encadré.

Contexte : Sur une parcelle, je souhaite surveiller l’évolution de la teneur en MO. Je prévois une rotation avec 3 blés durs et 2 tournesols, les pailles seront systématiquement enfouies.

TABLEAU 30 : Détail du calcul du bilan humique

Pertes en humus sur 5 ans			
	Surface	10 000	m ²
×	Profondeur 1	30	cm
×	Teneur en cailloux	20 %	
=	Volume de terre fine	2 400	m ³
	Texture	limono-argilo-sableuse	
×	Densité apparente 2	1,45	t/m ³
=	Masse de terre fine	3 480	t/ha
×	Taux de MO 3	1,1 %	
=	Quantité d’humus dans mon sol	38,28	t/ha
×	K_2 4	1,60 %	
=	Perte annuelle d’humus	612	kg / ha / an
	Perte en humus sur 5 ans	3 062	kg / ha / 5 ans

Gain en humus sur 5 ans

Restitution blé dur (pailles) 5	450	kg / ha / an
Restitution tournesol (racines + pailles) 5	240	kg / ha / an
Total des restitutions	2 955	kg / ha / 5 ans



Bilan humique de la parcelle sur 5 ans

Gain en humus sur 5 ans	2 955	kg / ha
Pertes en humus sur 5 ans	3 062	kg / ha
Bilan humique	- 107	kg / ha

Conclusion :

Avec mon système actuel, je maintiens ma teneur en MO (rappel stock total dans le sol : 38 tonnes, pertes sur 5 ans : 107 kg). Cela n'exclut pas des problèmes particuliers comme la battance, l'érosion, la sensibilité à la sécheresse...

Sur cet exemple, j'ai une teneur en MO faible et mon bilan humique est équilibré. Si je ne réalise pas d'apport exogène, il n'y aura pas d'amélioration de ma teneur en MO (si un bilan humique est à peu près équilibré en grandes cultures avec résidus enfouis, il est déficitaire si on enlève les pailles).

**TABLEAU 31/** Valeurs de densités apparentes de sols

Appréciation de la terre au toucher	Textures de l'horizon prélevé		Densité apparente en t/m ³
Très fine	argileuse lourde	AA	1,35
Très fine	argileuse	A	1,45
Fine	argilo-sableuse	As et AS	1,55
Fine	argile-limono-sableuse	Als	1,5
Fine	limon-argilo-sableuse	LAS	1,45
Fine	argile-limoneuse et limon argileux	Al et La	1,4
Moyenne	sablo-argileux et sable-argilo-limoneux	Sa et SAl	1,5
Moyenne	limon sablo-argileuse	Lsa	1,5
Moyenne	limoneuse	L	1,35
Moyenne	limon pur	LL	1,45
Grossière	limon sableux	Ls	1,45
Grossière	sableuse et sablo-limoneuse	S et SI	1,4
Très grossière	sable	SS	1,35

(Source : BAIZE, 2000)

TABLEAU 32/ Restitutions humiques

Culture	Résidus	Rendement (tonne de matière sèche/ha)	Coefficient isohumique, K ₁ (% de la matière sèche)	Restitutions humiques attendues (kg d'humus /ha/an)	Restitutions humiques retenues (kg d'humus /ha/an)
Vigne (ITAB, 2001) 2	Bois de taille	1 à 2	25 %	250 à 500	375
	Feuilles	1 à 2,5	20 %	200 à 500	350 [négligeable en LR]
	Herbe [interrang]	1 à 3	10 %	100 à 300	200 [150 en LR 1 rang/2]
Blé dur	Racines	2 à 3	15 %	300 à 450	375
	Pailles	2 à 4	15 %	300 à 600	450
Tournesol	Racines + Pailles				240
Melon (ITAB, 2001; CEHM* 2011)	Partie aérienne	3,3	13,50 %	445	445
	Fruits %*	0,2			
Artichaut (CA66 * 2011)	Partie aérienne + souterraine		13,50 %		1 800 *

Où trouver les données pour le calcul du bilan humique ?

- 1 Profondeur accessible par les racines.
- 2 Parfois disponible sur l'analyse de sol, sinon se référer au *Tableau 31*.
- 3 Disponible sur les analyses de sol.
- 4 Plusieurs formules et valeurs de K_2 existent. Par simplification nous utiliserons un K_2 de 1,6%
$$K_2 / \text{an} = 0,33 \times [1+0,2(\text{TMA})-10] \times [1/(1+0,05 \times \text{Argile})] \times [1/(1+0,05 \times \text{CaCO}_3)]$$
avec TMA = Température moyenne de l'air ; Argile = taux en argile du sol en ‰ ou g/kg ;
CaCO₃ = taux en calcaire total du sol en ‰ ou g/kg.
- 5 Voir *Tableau 32*.
- 6 Voir *Tableau 30*.
- 7 Produit en croix.
- 8 Coefficient isohumique (K_1) estimé du fumier. Ce coefficient, proposé par Hénin-Dupuis, estime la part de transformation des résidus organiques en humus.
- 9 ISMO de ce compost, obtenu par analyse.
- 10 Pour les coefficients d'équivalence engrais Keq N, P, K des MAFOR, voir en annexe.



EXEMPLE DE CALCUL D'UNE DOSE DE REDRESSEMENT

Contexte : Sur ma parcelle, je souhaite remonter le taux de MO à 1,2%. On me propose un fumier de bovins sur litière accumulée, ou un compost de déchets verts. Je cherche à connaître la MAFOR la plus adaptée et la dose à apporter.

TABLEAU 33/ Détail du calcul d'une dose de redressement

Dose à apporter		
Taux de MO actuel	1,1, %	
Quantité d'humus pour 1,1% 6	38,28	t/ha
Taux de MO souhaité	1,2 %	
Quantité d'humus pour 1,2 % 7	41,76	t/ha
Quantité d'humus à apporter	3,48	t/ha

Caractéristiques des matières

	Fumier de bovins	Compost de DV	Unité
Matière Sèche (MS)	257	584	g / kg
Matière Organique (MO)	212	267	g / kg
Azote total (N)	5,9	8,8	g / kg
Azote ammoniacal (N-NH ₄)	0,9	0	g / kg
Phosphore (P ₂₀₅)	2,8	4,8	g / kg
Potassium (K ₂₀)	9,5	8,3	g / kg

Calcul de la dose à apporter pour atteindre 3,48 t/ha d'humus

	Fumier de bovins	Compost de DV	Unité
× MO totale	212	267	
Coefficient d'humification	0,5 8	0,7 9	kg / t
= MO potentiellement humigène	106	186,9	
Quantité d'humus à apporter (rappel)	3 480	3 480	kg
Dose à apporter	33	19	t

Calcul des éléments fertilisants apportés

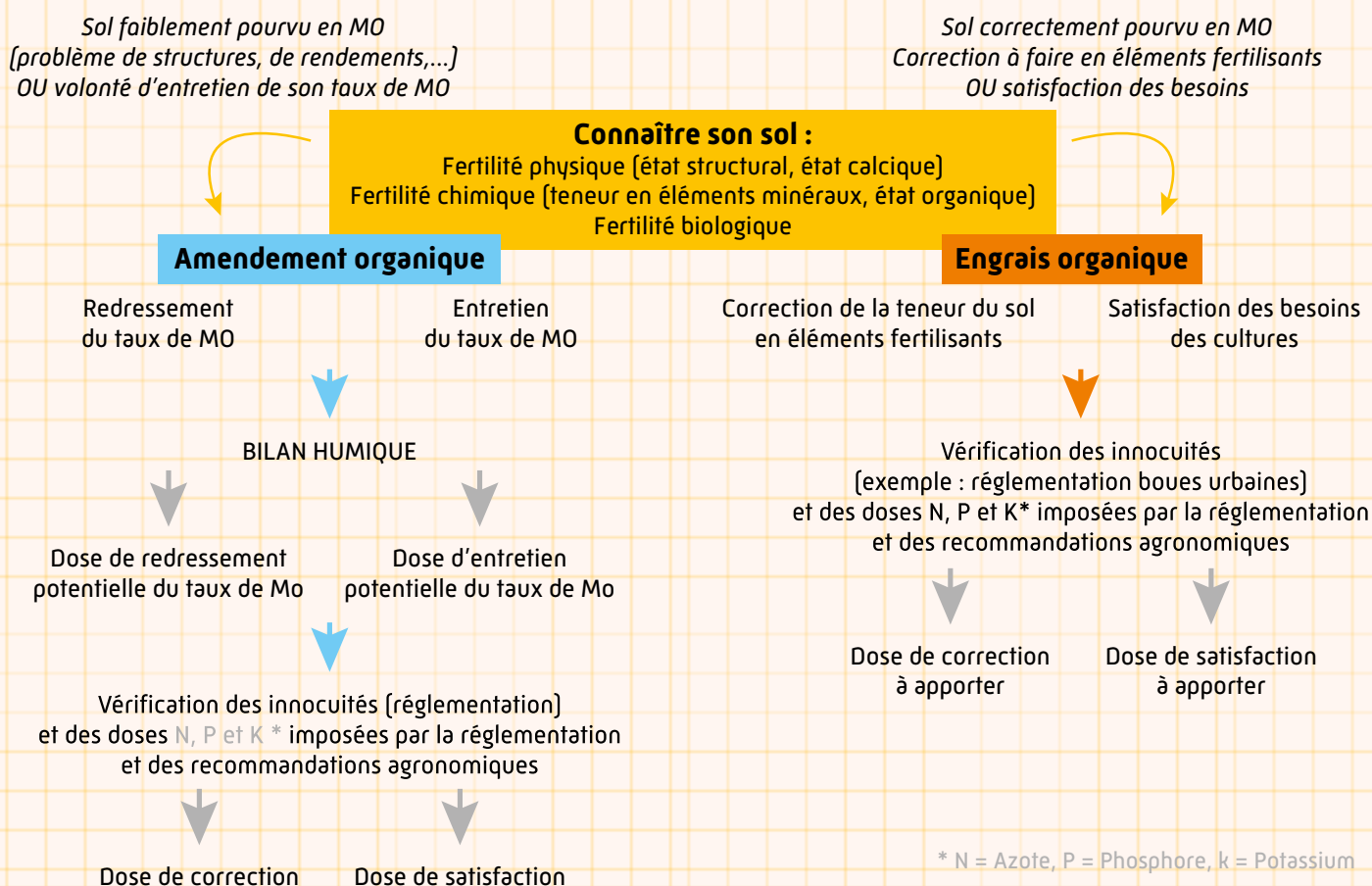
	Fumier de bovins	Compost de DV	Unité
Quantité prévue	33	19	t
Azote total	194,7	167,2	kg N
Fraction disponible la 1 ^{ère} année (Keq) 10	0,12	0,033	
soit	23,4	5,5	kg N
Phosphore	92,4	91,2	kg P2O5
Fraction disponible la 1 ^{ère} année (Keq) 10	0,8	0,8	
soit	73,92	72,96	kg P2O5
Potassium [entièrement disponible]	313,5	157,7	kg K2O

Pour le fumier, la volatilisation de l'azote ammoniacal serait à prendre en compte. Elle correspond à une perte d'azote par diffusion de l'ammoniaque de la MAFOR vers l'atmosphère immédiatement après épandage ce qui peut correspondre à des pertes de 10 à 50 %. **Pour le compost de DV**, l'azote ne sera pas disponible immédiatement, on observera dans un premier temps une phase d'immobilisation d'azote (possible faim d'azote* pour la culture).

Conclusion :

En théorie, 33 tonnes de fumier ou 19 tonnes de compost par hectare permettront de redresser le taux de MO à 1,2%. Cependant, les apports d'éléments nutritifs ne seront pas les mêmes : possible faim d'azote* avec le compost, tandis que le fumier apporte un excédent d'éléments nutritifs, notamment en potasse.

FIGURE 32/ Schéma simplifié du raisonnement d'un apport de MAFOR







À RETENIR

Selon la problématique rencontrée, on privilégiera une matière plutôt qu'une autre, par exemple, une matière fermentescible pour améliorer rapidement un problème de stabilité structurale, un compost végétal pour augmenter la CEC, etc. La dose d'apport devra être **raisonnée en fonction du type de sol** (notamment sa granulométrie), de sa teneur initiale en MO et des pertes de MO potentielles. On ne visera par exemple pas le même objectif de teneur en MO selon que l'on se trouve en sol argileux ou en sol sableux (voir Figure 27).

On peut conseiller **d'associer l'utilisation de matières stables** comme le compost de DV **et de matières plus fermentescibles** comme le fumier afin de bénéficier de leurs effets complémentaires.

Dans la mesure du possible, les matières **rapidement dégradables** seront apportées chaque année (effet intense mais peu durable dans le temps). Les matières plus stables pourront être apportées tous les deux à quatre ans.

Une matière plus riche en MO qu'une autre n'est pas forcément plus performante ! La MO s'apprécie à la fois par la **quantité** présente, mais aussi par son **état de maturité** et sa **stabilité**.

ANNEXE A / PROCÉDURE LEMA

► LES PRÉCAUTIONS D'USAGE AVANT ÉPANDAGES

Le contrôle de l'origine et de la qualité des boues

Elles doivent répondre à des seuils d'Eléments Traces Métalliques (ETM) et Composés Traces Organiques.

Le contrôle de la qualité des sols

Plusieurs paramètres font l'objet de vérifications : « Les boues ne doivent pas être épandues sur des sols dont le pH avant épandage est inférieur à 6 » (sauf dans le cas de boues chaulées, pour lesquelles la limite du pH du sol est de 5). En outre, les boues ne peuvent être épandues si les teneurs en ETM dans les sols dépassent l'une des valeurs limites fixées par l'arrêté du 8 janvier 1998¹⁵.

L'étude de périmètre

Elle permet de caractériser le milieu agricole et surtout d'identifier toutes les parcelles potentiellement épandables en faisant le lien avec les contraintes des autres activités humaines et de tous les enjeux environnementaux par lesquels le périmètre est concerné. Ils peuvent conditionner la dose d'apport, voire être à l'origine d'une interdiction d'épandage.

Les modalités prévisionnelles de fertilisation

Il s'agit là de définir avec l'exploitant les itinéraires culturaux pour être en capacité d'estimer les doses d'apport N, P₂O₅, K₂O calculées en fonction des besoins des cultures, des propriétés du sol et des boues. Elles sont issues des plans de fumure. La fertilisation complémentaire est également à établir ainsi qu'un calendrier d'épandage adapté aux cultures, à l'aptitude des sols à l'épandage et aux éventuelles contraintes réglementaires (exemple de la zone vulnérable).

► LES PRÉCAUTIONS D'USAGE AU MOMENT DES ÉPANDAGES

Les conditions de stockage et de dépôt temporaire à la parcelle à respecter

Les possibilités de dépôt en bord de parcelles des boues sont définies dans l'article 5 de l'arrêté du 8 janvier 1998 :

« Le dépôt temporaire de boues, sur les parcelles d'épandage et sans travaux d'aménagement, n'est autorisé que lorsque les quatre conditions suivantes sont simultanément remplies :

- a) Les boues sont solides et stabilisées ; à défaut, la durée maximale du dépôt est inférieure à quarante-huit heures ;
- b) Toutes les précautions ont été prises pour éviter une percolation rapide vers les eaux superficielles ou souterraines ou tout ruissellement ;
- c) Le dépôt respecte les distances minimales d'isolement définies pour l'épandage par l'article 13 ainsi qu'une distance d'au moins 3 mètres vis-à-vis des routes et fossés

d) *Seules sont entreposées les quantités de boues nécessaires à la période d'épandage considérée. Cette quatrième condition n'est pas applicable aux boues hygiénisées. »*

Lorsqu'une valorisation sur les sols est prévue, pour éviter la multiplication des campagnes d'épandage annuelles, l'arrêté du 21 juillet 2015 impose au maître d'ouvrage, une capacité de stockage minimale de 6 mois de production de boues destinées à cette valorisation.

Des règles de distance d'épandage sont à respecter...

...Selon les enjeux environnementaux et la nature des milieux à protéger (voir Figure A1).

→ ENJEUX EAU

Lorsque la **pente est supérieure à 7%** :

- Pour **tout type de boues**, respecter une distance de **100 mètres** des puits, forages, sources, aqueducs transitant des aux destinées à la consommation humaine en écoulement libre, installations souterraines ou semi-enterrées utilisées pour le stockage des eaux que ces dernières soient utilisées pour l'alimentation en eau potable ou pour l'arrosage des cultures maraichères.
- Pour des **boues non stabilisées ou non solides**, respecter une distance de **200 mètres** des berges des cours d'eau et plan d'eau.
- Pour des **boues solides et stabilisées**, respecter une distance de **100 mètres** des berges des cours d'eau et plan d'eau.

Les contraintes d'épandage liées au réseau hydrographique sont établies à partir de la définition des cours d'eau repris à l'article L215-7-1 du code l'environnement¹¹ et de la cartographie départementale des cours d'eau.

→ ENJEUX « VOISINAGE »

Pour les boues hygiénisées ou stabilisées et enfouies dans le sol immédiatement après l'épandage, il n'apparaît **pas de notion de distance** par rapport aux immeubles habités ou habituellement occupés par des tiers, des zones de loisirs ou des établissements recevant du public.

→ ENJEUX « SANITAIRE »

Selon la nature des cultures et de l'activité agricole **des règles de délai minimum après épandage** sont à respecter.

Six semaines avant la remise à l'herbe des animaux ou avant la récolte des cultures fourragères pour toutes les boues sauf hygiénisées.

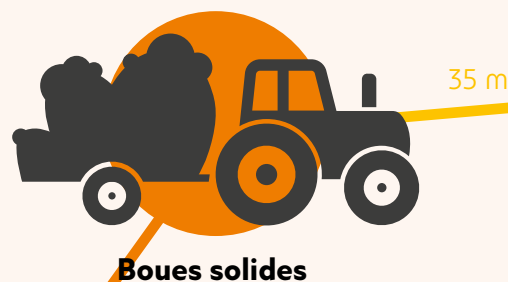
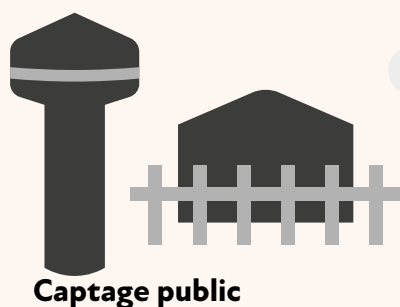
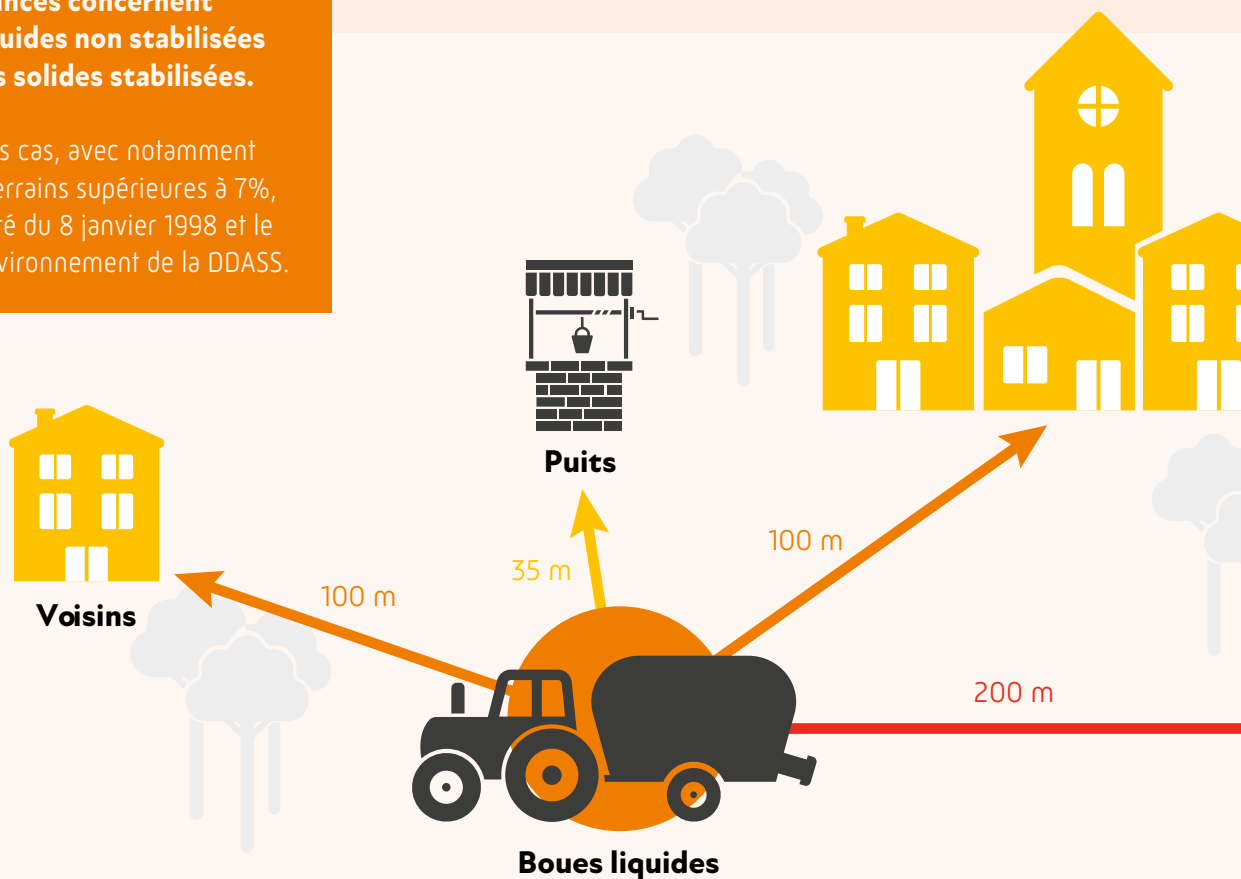
Pas d'épandage pendant la période de végétation pour les terrains affectés à des cultures maraichères et fruitières à l'exception des cultures d'arbres fruitiers pour tout type de boues.

Dix-huit mois avant la récolte et pendant la récolte elle-même pour des terrains destinés ou affectés à des cultures maraichères ou fruitières en contact direct avec les sols ou susceptibles d'être consommées à l'état cru pour tout type de boues sauf hygiénisées.

FIGURE A1/ Règles de distance d'épandage des boues

Ces distances concernent des boues liquides non stabilisées et des boues solides stabilisées.

Pour les autres cas, avec notamment des pentes de terrains supérieures à 7%, consulter l'arrêté du 8 janvier 1998 et le Service Santé Environnement de la DDASS.



Protection des captages d'eau destinée à l'alimentation humaine

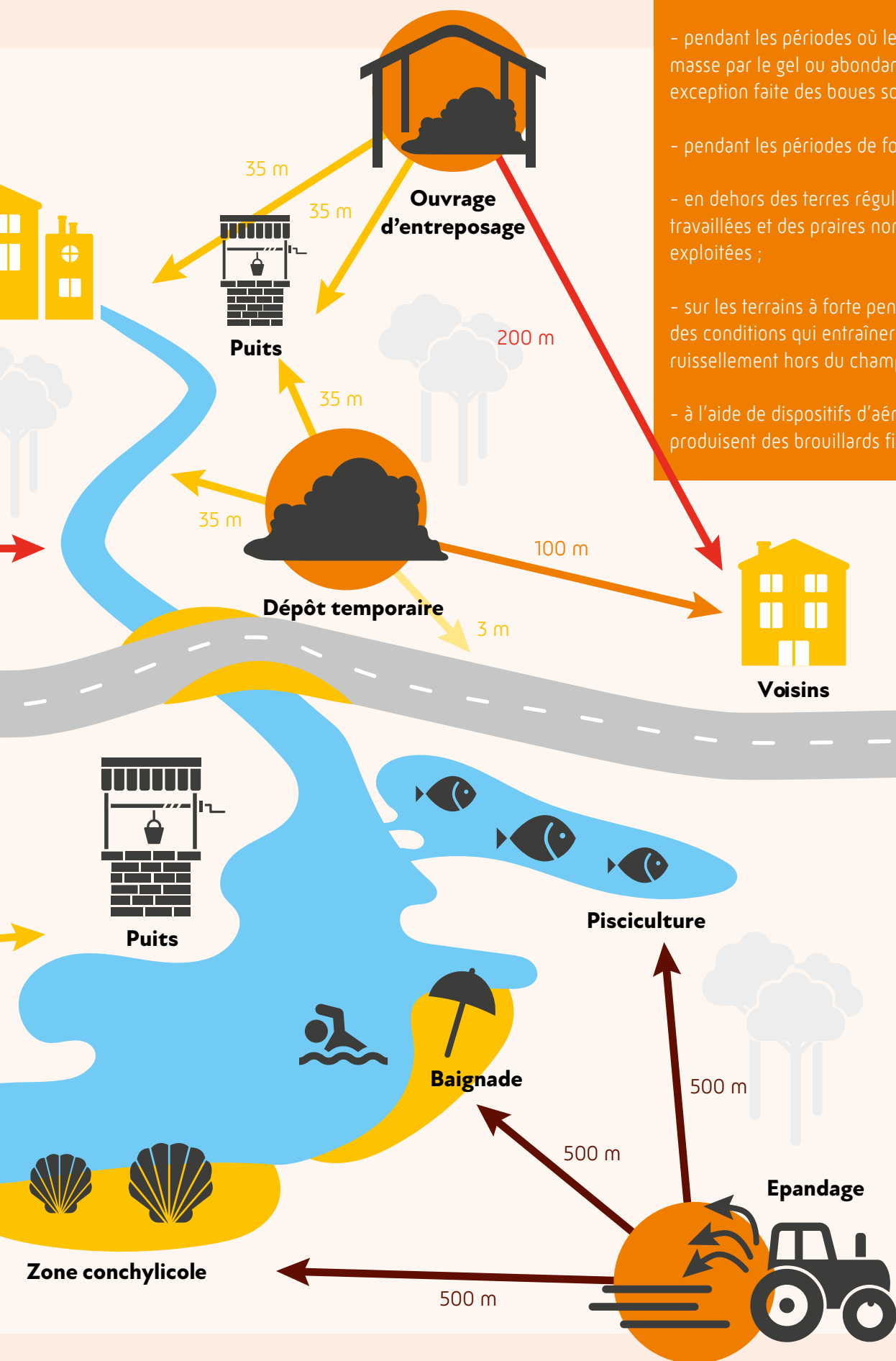
L'eau constitue un élément indispensable à la vie lorsqu'elle est destinée à l'alimentation. Elle ne doit pas porter atteinte à la santé de ceux qui la consomment.

Se renseigner auprès du gestionnaire du réseau sur les dispositions applicables de l'arrêté préfectoral de déclaration d'utilité publique du captage.



L'épandage est interdit :

- pendant les périodes où le sol est pris en masse par le gel ou abondamment enneigé, exception faite des boues solides ;
- pendant les périodes de fortes pluviosités ;
- en dehors des terres régulièrement travaillées et des prairies normalement exploitées ;
- sur les terrains à forte pente, dans des conditions qui entraîneraient leur ruissellement hors du champ d'épandage ;
- à l'aide de dispositifs d'aérodispersion qui produisent des brouillards fins.



ANNEXE B / PROCÉDURE RSD

Pour les installations relevant du RSD, les dispositions à respecter sont directement mentionnées dans le RSD du département concerné. En Occitanie, de manière générale, les mesures réglementaires sont quasi-similaires d'un département à l'autre. Elles concernent le stockage et l'épandage des MAFOR.

► LE STOCKAGE

- au-delà d'un volume de 50 m³, les dépôts doivent faire l'objet d'une déclaration préalable en mairie.
- les dépôts ne peuvent pas avoir un volume supérieur à 2 000 m³ et leur hauteur ne doit pas dépasser 2 m. Ils devront être recouverts dans la journée ou au plus tard le lendemain du déchargement d'une couche de terre meuble ou autre matière inerte de 10 cm.
- la durée maximale de stockage est de un an.
- les dépôts ne doivent pas être à l'origine de nuisance ou de pollutions des eaux.

► L'ÉPANDAGE EST INTERDIT...

- en période de gel et de fortes pluies,
- en dehors des terres régulièrement exploitées ou destinées à une remise en exploitation,
- ne pas dépasser la capacité d'absorption des sols afin d'éviter le ruissellement en dehors de la parcelle.

En outre, des distances minimales peuvent être requises.

TABLEAU B1/ Distances minimales de localisation du stockage et distances minimales d'épandage en Occitanie [d'après les RSD départementaux]

	Stockage	Épandage
Points d'eau (cours d'eau, sources, puits, forages, etc.)	35 m	35 m
Tiers (habitations, zones recevant du public, zones constructibles, etc.)	200 m	50 à 100 m Si lisier ou purin : > 100 m
Voies de communication	5 m	Interdiction à proximité

Spécificités départementales :

- **Gers** : stockage 35 m des voies de communication
- **Hautes-Pyrénées** : stockage de fumier et autres déjections solides > 35 m des habitations ; épandages > 200 m des habitations

ANNEXE C / PROCÉDURE ICPE

► SOCLE COMMUN

TABLEAU C1/ Le retour au sol des effluents et/ou déchets issus d'ICPE est réglementé selon le régime de l'installation

Régime de l'ICPE	Texte réglementaire
Déclaration	- Arrêtés ministériels de prescriptions générales ou arrêtés préfectoraux de prescriptions générales ou spécifiques le cas échéant <i>OU</i> - Arrêté du 5 décembre 2016 relatif aux prescriptions applicables à certaines installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration (JORF n° 288 du 11 décembre 2016)
Enregistrement	- Arrêtés ministériels de prescriptions applicables aux ICPE soumises à enregistrement et guides
Autorisation	- Arrêtés ministériels de prescriptions générales ou arrêtés préfectoraux de prescriptions générales ou spécifiques <i>le cas échéant</i> <i>OU</i> - Arrêté du 02/02/98 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation

► PLAN D'ÉPANDAGE

La première étape de la valorisation par retour au sol des effluents agricoles et/ou des déchets est **l'élaboration d'un plan d'épandage**.

Il est soumis aux services de l'État dans le cadre des procédures d'autorisation, d'enregistrement ou de déclaration. **Quelle que soit l'origine de l'effluent et/ou du déchet**, il comporte à minima les éléments suivants :

- l'identification du producteur et des éventuels prêteurs de terres ;
- les conventions d'épandage lorsque des terres sont mises à disposition par des tiers,
- une représentation cartographique (échelle entre 1/5 000 et 1/25 000) des parcelles concernées, des surfaces exclues et du motif des exclusions
- l'identification des parcelles et des surfaces totales et épandables, regroupées par îlot cultural et par exploitant et repérées sur les supports cartographiques;
- les systèmes de culture (cultures en place, rotations principales, rendements);
- la nature, la teneur en azote avec indication du mode d'évaluation de cette teneur (analyses ou références) et la quantité des effluents qui seront épandus ;
- les périodes d'épandage habituelles ou d'interdiction en fonction des cultures.

Toute modification notable de surface du plan d'épandage doit être notifiée avant sa réalisation, à la connaissance du préfet.

► CAS DES DÉCHETS HORS EFFLUENTS D'ÉLEVAGE

Le plan d'épandage doit être associé à une étude préalable comportant :

- un descriptif de l'effluent traité et du déchet à épandre : qualité (réglementaire et agronomique) et quantité
- un descriptif du contrôle de la qualité des déchets et des sols en faisant réaliser des analyses ;
- les doses maximales admissibles par type d'effluent, de sol et de cultures selon les flux maximums réglementaires ;
- un calendrier prévisionnel d'épandage rappelant, en zone vulnérable, les périodes d'interdiction d'épandage et, en dehors de ces zones, les périodes d'épandage inapproprié ;
- un descriptif des ouvrages de stockage permettant de répondre aux éventuelles périodes d'interdiction d'épandage (volume, localisation et caractéristiques) ;
- une démonstration de la cohérence entre le volume d'effluents et/ou de déchets à épandre et les surfaces épandables mis à disposition (adéquation entre le calendrier de disponibilité des parcelles et le temps de stockage, dose d'apport, temps de retour sol sur la même parcelle)
- une évaluation d'incidence ou une étude d'impact pour les ICPE soumises au régime de l'autorisation.

Une fois le plan d'épandage acté par les services de l'État, outre des règles spécifiques prévues par arrêté préfectoral, des précautions d'épandages doivent être prises :

- Contrôle régulier de la qualité des déchets en faisant réaliser des analyses avant épandage,
- Contrôle décennal des sols sur les paramètres Éléments trace-métalliques
- Temps de stockage au champ
- Des **distances d'épandage et délais d'enfouissement**.
- Des périodes d'interdiction.
- Des délais de retour après épandage pour certaines cultures.

Tout épandage des effluents et/ou de déchets est interdit :

- sur sol non cultivés
- sur sol pris en masse par le gel ou enneigé
- sur les sols inondés ou détrempés
- pendant les périodes de fortes pluviosités
- par aéro-aspersion (hors effluents d'élevage)

Le stockage temporaire au champ est autorisé pour les effluents (hors élevage) et/ ou déchets solides, dans la limite de 1 an et lorsqu'ils sont peu fermentescibles ou à défaut le stockage ne peut excéder 48 heures. Dans tous les cas, il doit respecter les modalités suivantes :

- le dépôt est réalisé sur des parcelles d'épandage
- le volume déposé correspond au volume à épandre sur la parcelle
- le retour sur le même emplacement est supérieur à 3 ans
- des précautions sont prises contre les risques d'écoulement

Des documents annuels réglementaires doivent également être réalisés afin d'assurer, la traçabilité des effluents et/ou déchets épandus, notamment dans le cas d'épandages de boues ou de digestats. Le producteur doit tenir à la disposition de l'inspection des installations classées :

- programme prévisionnel des épandages
- cahier d'épandage

Pour les ICPE soumises à autorisation, elles doivent également réaliser un bilan agronomique des épandages.

► CAS DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE

Les rubriques ICPE spécifiques à l'élevage qui seront ici traitées sont les suivantes :

- 2101 - Élevage de bovins
- 2102 - Élevage de porcs
- 2110 - Élevage de lapins
- 2111 - Élevage de volailles

Le stockage en plein air sur des sites non déclarés au plan d'épandage est possible pour les effluents d'élevage solides et ne présentant pas d'écoulement. Leur stockage doit être temporaire, réalisé sur une parcelle d'épandage et doit respecter les mesures du *Tableau C2*.

Les prescriptions d'épandage des effluents d'élevage sont pour partie communes à celle applicables aux déchets mais différentes selon la nature et le traitement de l'effluent.

Tout épandage d'effluents d'élevage est interdit :

- sur sol non cultivés ;
- sur sol pris en masse par le gel ou enneigé ;
- sur les sols inondés ou détrempés ;
- pendant les périodes de fortes pluviosités ;
- par aéro-aspersion sauf pour les eaux issues du traitement des effluents.

L'épandage par aspersion ne doit toutefois pas produire d'aérosol.

Les distances d'isolement du *Tableau C3* doivent également être respectées, ainsi que les délais d'enfouissement du *Tableau C4*.

TABLEAU C2/ Mesures à respecter pour un stockage d'effluents d'élevage





	Conditions préalables	Temps de stockage au champ	Conditions d'emplacement et retour	Distances d'isolement	Conditions et réduction des distances d'isolement
 Bovins	au moins 2 mois de stockage sous les animaux ou en fumière	≤ 10 mois	"sur des sols où l'épandage est autorisé Tous les 3 ans minimum"	• 100 m des immeubles occupés par des tiers, stades, terrains de camping	Réduction possible uniquement par rapport aux immeubles occupés par des tiers, stades, terrains de camping soit : • 50 m sur fumier de bovin sur litière accumulées • 50 m si effluent de lapin traité • 25 m dans les installations de montagne*
 Porcs				• 35 m des tout point d'eau et des berges • 200 m des lieux de baignade déclarés et des plages	
 Volailles et palmipèdes	aucune	• 500 m en amont des zones conchylicoles • 50 m des berges			
 Lapins	au moins 2 mois de stockage sous les animaux ou en fumière	24 heures	sur des sols où l'épandage est autorisé	des cours d'eau alimentant une pisciculture, sur un linéaire d'un kilomètre le long de ces cours d'eau en amont d'une pisciculture	

TABLEAU C3/ Distances d'isolement à respecter pour un épandage d'effluents d'élevage

	Compost	“Fumiers de bovins et porcs compacts non susceptibles d'écoulement, après un stockage d'au minimum 2 mois”	“Autres fumiers Lisiers et purins Fientes à plus de 65 % de matière sèche Effluents d'élevage après un traitement* Digestats de méthanisation** Eaux blanches et vertes non mélangées avec d'autres effluents”
Immeubles, locaux et habitations occupés par des tiers, campings agréés, stades	10 mètres	15 mètres	50 mètres
Berges des cours d'eau	“35 m des berges Réduction possible à 10 mètres si mise en place d'une bande végétalisée, implantée de manière permanente et ne recevant aucun intrant (sauf par pâturage)”		
Zones conchyliques	“500 mètres Sauf dérogation liée à la topographie et à la circulation de l'eau”		
Pisciculture	50 mètres des berges du cours d'eau alimentant la pisciculture sur 1 km en amont		
Point de prélèvement d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaines ou des particuliers	“50 mètres 35 mètres si le prélèvement est réalisé en eaux souterraines”		
Lieux de baignade déclarés (hors piscine privée) et plages	50 mètres	200 mètres	

* visé au 4.3 et/ou atténuant les odeurs à l'efficacité démontrée selon les protocoles établis dans le cadre de l'étude Sentoref 2012 réalisée par le Laboratoire national de métrologie et d'essais.

** digestats produits à partir d'effluents d'élevage et sous-produits d'origine agricole

TABLEAU C4/ Délais d'enfouissement (épandage sur sol nu)

	Délais à respecter
Compost	aucun
Fumier compact de bovins et porc non susceptible d'écoulement	24 heures
“Autres fumiers Lisiers et purins Fientes à plus de 65 % de matière sèche Effluents d'élevage après un traitement* Digestats de méthanisation Eaux blanches et vertes non mélangées avec d'autres effluents”	12 heures

ANNEXE D / COEFFICIENTS D'ÉQUIVALENCE ENGRAIS

TABLEAU D1/ Coefficients d'équivalence engrais de quelques MAFOR

Type de produits organiques	CE-N(%) moyen	CE-P ₂ O ₅ (%)	CE-K ₂ O (%)
Boues d'épuration liquides	35-10 ^[3]	90 ^[1]	100 ^[3]
Boues d'épuration pâteuses	35-65 ^[3]	90 ^[1]	100 ^[3]
Boues d'épuration solides	45-55 ^[3]	90 ^[1]	100 ^[3]
Compost de déchets verts et de boues d'épuration	15 ^[3]	77 ^[1]	100 ^[3]
Compost de déchets verts	< 10 ^[3] *	55 ^[1]	65-85 ^[2]
Compost de déchets verts et de fraction fermentescibles d'ordures ménagères (FFOM)	10 ^[3]		100 ^[3]
Compost de FFOM	10 ^[3]		100 ^[3]
Compost de lisier porcin et de litière de volaille	5-15 ^[3]		
Compost de fumier de bovin	10 ^[3] 20 ^[4]	70 ^[1]	100 ^[3]
Fumier de caprin	10 ^[3] 40 ^[4]	100 ^[4]	100 ^[3]
Fumier de cheval	15-20	100 ^[4]	100 ^[3]
Fumier de lapin	20	100 ^[3]	100 ^[3]
Fumier de mouton	10-30 ^[3]	100 ^[3]	100 ^[3]
Lisier de veau	40-70 ^[4]	100 ^[4]	100 ^[3]
Lisier de porc	60-70 ^[4]	85 ^[4]	100 ^[3]
Lisier de bovin	50-60 ^[4]	100 ^[4]	100 ^[3]

[1] Ferti-progrès arvalis

[2] Guide ITAB 2001

[3] Guide de la fertilisation organique à la Réunion - CIRAD et Chambre d'Agriculture de la Réunion, 2006

[4] Fertiliser avec les engrais de ferme

* Une réorganisation de l'azote du sol par la biomasse microbienne peut être observée lors des premières semaines qui suivent l'apport mais aussi sur l'ensemble des 12 premiers mois (cette réorganisation est en général due à un CIN élevé).



GLOSSAIRE ET SIGLES

A/

- **AB** : Agriculture Biologique
- **ADEME** : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
- **AFNOR** : Association Française de Normalisation. L'organisme fonctionne grâce à des travaux en commissions de travail thématiques. Elles sont constituées par différents intervenants transversaux.
- **Afidol** : Association française interprofessionnelle de l'olive
- **AIVB** : Association Interprofessionnelle des Vins Biologiques.
- **AMM** : Autorisation de Mise sur le Marché
- **Anions** : Eléments minéraux ayant des éléments négatifs 'libres'. Bicarbonates, sulfates, chlorures, nitrates, phosphates.
- **ANSES** : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
- **AO** : Amendement Organique
- **AOC** : Appellation d'Origine Contrôlée
- **AOP** : Appellation d'Origine Protégée
- **APCA** : Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture
- **API** : Autorisation Provisoire d'Importation
- **APV** : Autorisation Provisoire de Vente
- **ARS** : Agence Régionale de la Santé
- **Art.** : Article
- **As** : Arsenic au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.

B/

- **BA** : Bilan agronomique
- **Biodéchet** : Il s'agit de « tout déchet non dangereux biodégradable de jardin ou de parc,

tout déchet non dangereux alimentaire ou de cuisine issu notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente et de détail, ainsi que tout déchet comparable provenant des établissements de production ou de transformation des denrées alimentaires ».

- **Biodisponibilité** : Aptitude d'une fraction d'un élément, dans le sol par exemple, à être absorbée par un être vivant donné, c'est à dire par la racine dans le cas des végétaux. Cette fraction biodisponible varie considérablement suivant l'être vivant considéré, mais aussi suivant la nature et les propriétés du sol.
- **Bilan Humique** : Pertes en humus par minéralisation - gains en humus par humification des résidus de culture (= restitution humiques) sur la période entre 2 apports de MAFOR.
- **BM** : Biomasse Microbienne
- **Boues stabilisées** : Boues qui ont fait l'objet d'un traitement de stabilisation lequel conduit à produire des boues dont la fermentation est soit achevée soit bloquée à la sortie du traitement.
- **BRF** : Bois Raméal Fragmenté

C/

- **C** : Carbone au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **C/N** : Rapport Carbone total (organique) /Azote total. Plus la MAFOR sera riche en carbone, plus elle pourra se transformer en matière organique du sol. Il existe un lien étroit entre le carbone et les matières organiques d'un sol : le taux de matière organique est égal à 1,73 fois la teneur en carbone stable sous nos latitudes.
- **Ca** : Calcium au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **Ca2+** : Calcium sous sa forme cation

- **CAB** : Conversion à l'Agriculture Biologique
- **CaCO₃** : Carbonate de Calcium
- **CAH** : Complexe Argilo-Humique. Le complexe argilo-humique est la plaque tournante du fonctionnement du sol.
- **CaO** : Oxyde de calcium.
- **Cations** : Eléments minéraux ayant des ions positifs 'libres' : calcium (Ca²⁺), magnésium, potassium, sodium, cuivre...
- **CBM Tr** : Caractérisation Biochimique des Matières organiques.
- **CBPA** : Code de Bonnes Pratiques Agricoles
- **Cd** : Cadmium au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **CDA** : Chambre Départementale d'Agriculture
- **CEC** : Capacité d'Echange Cationique
- **CEHM** : Centre d'Expérimentation Horticole de Marsillargues
- **CEL** : Cellulose
- **CE-N** : Coefficient d'Equivalence engrais azoté sous forme d'ammonitrate.
- **CE-P** : Coefficient d'Equivalence engrais phosphaté sous forme de phosphates assimilables par la plante (mono- ou bi-).
- **Chélation** : Processus physico-chimique qui conduit à la formation d'un complexe entre un ion métallique positif et une substance organique.
- **CIMS** : Cultures Intermédiaires Multi-Services
- **CPAN** : Couvert Intermédiaire Piège à Nitrates
- **cm** : centimètre
- **CMN** : Coefficient de Minéralisation de l'azote
- **Co** : Cobalt au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **CO₂** : Dioxyde de carbone
- **Coefficient d'équivalence Engrais** : Noté CE-N pour le coefficient d'équivalence engrais azoté. Compris entre 0 et 1, il indique pour chaque apport, à partir de l'analyse, la proportion qui équivaut à de l'engrais chimique assimilable par la plante. Ainsi, une CE-N de 0,3 indique que, sur 100 kg d'azote contenue dans la MAFOR, 30 kg peuvent être assimilés à la forme N-NO₃ N-NH₄ et donc à un équivalent d'apport de 30 U d'ammonitrate. Il représente la fraction de l'élément apporté qui agit comme un engrais minéral.
- **Coefficient isohumique** : Cet indicateur K1 équivaut à la fraction de la matière sèche de la MAFOR qui va contribuer à l'augmentation de la quantité d'humus du sol.
- **COFRAC** : Comité Français d'Accréditation
- **Conductivité** : Elle est directement liée à la quantité de sels dissous dans l'eau, plus il y a de sels, plus elle est élevée. $\mu\text{S}/\text{cm} = 1 \text{ ppm} = 1\text{mg}/\text{l}$.
- **COV** : Composés Organiques Volatiles
- **Cr** : Chrome au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **CTO** : Composés Traces Organiques
- **Ct3** : Minéralisation du Carbone à 3 jours
- **Ct91** : Minéralisation du carbone à 91 jours
- **Cu** : Cuivre au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **Cu²⁺** : Ion cuprique
- **CUMA** : Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole

D/

- **DA** : Déchets Assimilés en collecte spécifique
- **DAE** : Déchets des Activités Economiques
- **DC** : ICPE soumise à Déclaration & soumis à contrôle périodique prévu par l'article L512-11 (avril 2010) du code de l'environnement.
- **DCE** : Directive cadre sur l'eau
- **DDPP** : Direction Départementale de Protection des Personnes
- **DDTM** : Direction Départementale des Territoires et de la Mer
- **DE** : Direction de l'Eau
- **DGAL** : Direction Générale de l'Alimentation
- **DM** : Déchets Ménagers
- **DMA** : Déchets Ménagers et Assimilés
- **DPA** : Débit Proportionnel à l'Avancement
- **DRDR** : Document Régional du Développement Rural
- **DREAL** : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- **DV** : Déchets Verts

E/

- **E.coli** : Escherichia coli
- **EH** : Equivalent Habitant
- **Eléments majeurs dans la plante** : Il s'agit de l'azote, du phosphore, du potassium, du calcium, du magnésium soit NPK, Ca, Mg et, dans une moindre mesure, du soufre.
- **Eléments Traces Métalliques ou ETM** : Certains

de ces éléments sont des oligo-éléments essentiels pour la vie des plantes et des animaux pour lesquels l'équilibre entre carence et toxicité doit être trouvé: le Bore, Cuivre, Cobalt, Fer, Manganèse, Nickel, Sélénium, Zinc. Le Mercure, le Plomb, l'Arsenic et le Cadmium n'ont pas une fonction métabolique connue à ce jour et sont, de ce fait, considérés comme « non essentiels».

- **EO** : Engrais Organique
- **EPE** : Etude Préalable d'Épandage
- **ETM** : Éléments Traces Métalliques
- **Eutrophisation** : Modification et dégradation d'un milieu aquatique lié le plus souvent à un apport excessif de substance nutritive (azote et/ou phosphore).
- **E** : exemple
- **EZT** : Étendue dans la zone de tolérance (% du temps d'épandage pendant lequel le débit est dans la zone de tolérance)

F/

- **Faim d'azote**: Azote utilisé pour la décomposition de la matière organique qui n'est plus disponible pour la plante
- **Fe** : Fer au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **FFOM** : Fraction Fermentescible (organique) des Ordures Ménagères. Les Ordures Ménagères Résiduelles ou OMR sont la part des déchets qui restent après les collectes sélectives (après avoir retiré verres, cartons et emballages) sont constituées d'une fraction organique et d'une fraction non organique. La FFOM est la fraction organique de ces OMR.
- **Fond pédo-géochimique** : concentration naturelle d'une substance dans un horizon de sol résultant uniquement de l'évolution géologique et pédologique à l'exclusion de tout apport d'origine anthropique.

G/

- **GIS Sol** : Groupement d'Intérêt Scientifique sur les sols
- **Gleyfication** : Constitution de gley due à la concentration puis à la stagnation de l'eau dans un sol.

- **Global Gap** : Démarche de certification privée mise en œuvre par de nombreux distributeurs du Nord de l'Europe. Plus d'infos sur leur site : www.globalgap.org.

- **GMS** : Grandes et Moyennes Surfaces

- **Grandes Cultures** : Comprend l'ensemble des céréales et oléoprotéagineux.

H/

- **H** : Hydrogène au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.

- **ha** : Hectare

- **HAP** : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

- **HEM** : Hémi-cellulose

- **Hétérotrophe** : Qualifie un organisme qui assure sa subsistance en assimilant des substances organiques et incapable de produire ces substances organiques à partir de matière minérale.

- **hl** : Hectolitre

- **Humification** : Procédé permettant la transformation des matières organiques fraîches en matières organiques stables.

- **Hg** : Mercure au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.

I/

- **IAA** : Industrie Agro-Alimentaire

- **Iax** : Test alcalinisant

- **ICPE** : Installation Classée pour l'Environnement

- **IGP** : Indication Géographique Protégée

- **Ilôt culturel** : Regroupement de parcelles culturales contiguës, entières ou partielles portant une ou plusieurs cultures, limité par des éléments facilement repérables et permanents (comme un chemin, une route, un ruisseau...) et stable d'une année sur l'autre.

- **INAO** : Institut National des Appellations d'Origine

- **INERIS** : Institut National de l'Environnement industriel des Risques

- **Innocuité** : Les critères d'innocuité d'une MAFOR regroupent les valeurs en ETM, CTO, pathogènes et inertes.

- **INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique

- **INSEE** : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
- **IRD** : Institut de Recherche pour le Développement
- **ISB** : Indice de Stabilité Biologique
- **ISDND** : Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux
- **ISMO** : Indice de Stabilité des Matières Organiques

K/

- **K** : Potassium au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **K1** : Coefficient isohumique
- **K2** : Coefficient de minéralisation
- **K20** : Oxyde de potassium
- **kg** : kilogramme
- **KW** : kilowatt

L/

- **L** : Litre
- **LAS** : Limon Argilo-Sableux
- **LEMA** : Loi sur l'eau et les milieux aquatiques
- **LIC** : Lignine
- **LR** : Languedoc - Roussillon

M/

- **µm** : micromètre
- **m** : mètres
- **M1** : Minéralisation primaire
- **M2** : Minéralisation secondaire
- **MAA** : Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
- **Macrofaune** : Composée de grandes larves d'insectes, de la majeure partie des myriapodes et des lombriciens (individus de 4 à 80 mm de longueur) qui peuvent modifier la structure physique du sol en creusant des galeries ou en ingérant la terre (univers de vie : le sol de 50 cm à 5 m). Elle fragmente les matières organiques et les brassent avec les matières minérales sur l'ensemble du sol.
- **MAE** : Mesures Agro-Environnementales
- **Mafor** : Matières fertilisantes d'origine résiduaire
- **MB** : Matière Brute

- **MESE** : Mission d'Expertise et de Suivi des Epanchages
- **Mésofaune** : Composée d'individus de 0,2 à 4 mm de longueur qui se déplacent au sein des espaces existants, sans creuser le sol de manière significative (univers de vie : la motte de terre, de 5 à 50 cm). Elle fragmente les matières organiques.
- **MFSC** : Matière Fertilisante ou de Support de Culture
- **mg** : milligramme
- **Mg** : Magnésium au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **MgO** : Oxyde de magnésium
- **MIATE** : Matières d'Intérêt Agronomique issues du Traitement de Eaux
- **Microfaune** : Composée de protozoaires et de nématodes (longueur <0,2 mm), la microfaune vit dans les pores ou films d'eau de la matrice du sol, lui permettant ainsi de résister à la dessiccation du sol (univers de vie : l'agrégat, de 0,5 à 5 cm).
- **Microflore** : Population végétale microscopique, participant à la minéralisation des résidus organiques et aux cycles du carbone et de l'azote.
- **Micronutriments** : En alimentation humaine, ils sont constitués par les oligo-éléments : les vitamines...
- **MIN** : Marché d'Intérêt National
- **Minéralisation** : Permet de transformer les éléments nutritifs de l'humus en éléments assimilables par les plantes et faune/flore du sol.
- **mm** : millimètre
- **MM** : Matière Minérale
- **Mn** : Manganèse au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **Mn3+** : Forme libre du Manganèse dans le sol
- **Mo** : Molybdène au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **MO** : Matière Organique.
- **Mobilité** : Aptitude d'un Elément Trace Métallique à être transféré vers des compartiments du sol où il est de moins en moins énergiquement retenu, le compartiment ultime étant représenté par la solution du sol (Juste, 1995).
- **MOL** : Matière Organique Labile ou Fraîche
- **MOM** : Matière Organique Morte
- **MOS** : Matière Organique Stable
- **MOV** : Matière Organique Vivante
- **MPO** : Micro Polluants Organiques
- **MS** : Matière Sèche

- **MSA** : Mutualité Sociale Agricole
- **MTEs** : Ministère de la Transition écologique
- **MWD** : Diamètre moyen pondéré

N/

- **N** : Azote au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **NF** : Norme Française
- **NF U42-001** : Norme relative aux engrais organiques, engrais organo-minéraux et engrais minéraux. Les informations présentent l'amendement A10 du 18 décembre 2009 qui concerne spécifiquement les engrais organiques.
- **NF U44-051** : Norme relative aux amendements organiques, avec ou sans engrais en dehors des composts répondant à la norme 44-095.
- **NF U44-095** : Norme relative aux composts, avec ou sans engrais, contenant des Matières d'Intérêt Agronomique, issus du Traitement de Eaux (compost de MIATE) tel que le compost de boues urbaines.
- **NH₄⁺** : Ion ammonium
- **Ni** : Nickel au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **N-NH₄** : Azote ammoniacal
- **N-NO₃** : Azote nitrique
- **Norg. non uréique** : Azote organique non uréique
- **NO₃⁻** : Ion nitrates
- **NO_x** : Oxyde d'azote
- **NTK** : Azote total méthode Kjeldhal.
- **Ntot** : Azote total
- **N-uréique** : Azote uréique

O/

- **O** : Oxygène au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **ODG** : Organisme De Gestion
- **Oligo-éléments** : Eléments minéraux purs nécessaires à la vie d'un organisme mais en quantités très faibles.
- **OM** : Ordures Ménagères et assimilées
- **OMA** : Ordures Ménagères et Assimilés
- **OMR** : Ordures Ménagères Résiduelles
- **ORDECO** : Observatoire Régional des Déchets et de l'Economie Circulaire en Occitanie

P/

- **P** : Phosphore au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **P₂O₅** : Anhydride phosphorique
- **PAC** : Politique Agricole Commune
- **PAF** : Perte Au Feu. Méthode de laboratoires d'analyses retenue pour mesurer la teneur en matière organique des MAFOR.
- **PAN** : Programme d'Actions National
- **PAR** : Programme d'Actions Régional
- **Parcelle culturelle** : Ensemble de parcelles appartenant au même îlot culturel, homogènes du point de vue de la culture concernée, de l'histoire culturelle (notamment pour ce qui concerne les successions et les apports organiques) et de la nature du terrain).
- **Pb** : Plomb au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **PCB** : Polychlorobiphényle
- **PCDD** : Polychlorodibenzo-p-dioxines
- **PCDF** : Polychlorodibenzo-furanes
- **PE** : Plan d'Épandage
- **pF** : point de Flétrissement
- **PFC** : PlateForme de Compostage
- **pH** : potentiel Hydrogène
- **PHAE** : Prime Herbagère Agro-Environnementale
- **Phyto-disponibilité** : Dans le cas présent, transfert d'un Elément Trace Métallique du sol vers la plante.
- **Plan d'épandage** : Le plan d'épandage est un document de synthèse qui définit, en fonction de leur aptitude à l'épandage, les îlots cultureux qui pourront faire l'objet d'épandage d'effluents organiques. Il montre que l'ensemble des effluents d'élevage peut être épandu dans des conditions environnementales satisfaisantes, y compris sur les parcelles mises à disposition par des tiers.
- **P-O** : Pyrénées-Orientales
- **Potentiel humigène** : Capacité d'une MAFOR à se transformer en humus stable par les voies biogéochimiques.
- **PPE** : Programme Prévisionnel d'Épandage
- **PRAEC** : un Plan Régional d'Actions en faveur de l'Economie Circulaire
- **PRO** : Produits Résiduels Organiques (boues, compost de boues, fumier, compost d'OM)
- **PRPGD** : Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets

- **PSE** : PolyStyrène Expansé
- **PTAC** : Poids Total à Charge
- **PTRA** : Poids Total Autorisé à Charge

R/

- **RA** : Recensement Agricole
- **RSD** : Règlement Sanitaire Départemental

S/

- **S** : Soufre au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **SAA** : Statistiques Agricoles Annuelles
- **SAGE** : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
- **SAU** : Surface Agricole Utile
- **SC** : Support de Culture
- **Se** : Sélénium au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **SDAGE** : Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux
- **Siccité** : La siccité est le pourcentage massique de Matière Sèche d'une MAFOR. Ainsi, une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90 %.
- **STEP** : STation d'Épuration. Associé à « boues de ... ».
- **STEU** : Station de Traitement des Eaux Usées
- **SO2** : anhydride sulfureux
- **SYPREA** : Syndicat des Professionnels du Recyclage en Agriculture

T/

- **T** : Tonnes
- **Taux de MO du sol** : Taux de matière organiques du sol. Par convention, ce taux est considéré comme de l'humus en intégralité.
- **TEC** : Tonne d'Equivalent Carcasse
- **TMA** : Température Moyenne de l'Air
- **TMB** : Tri Mécano-Biologique

U/

- **ufc** : unité fondant une colonie
- **UMR** : Unité Mixte de Recherche

V/

- **Valeur amendante** : Valeur d'une MAFOR examinée sous l'angle d'apport d'humus stable. Elle est examinée via des indicateurs tels le C/N (plus il est élevé plus la MAFOR a une valeur amendante), l'ISB ou l'ISMO.
- **VDQS** : Vin Délimité de Qualité Supérieure
- **VN** : Valeur Neutralisante

Z/

- **Zn** : Zinc au sens large du terme, ne présume pas de la forme de l'élément.
- **Zn2+** : Forme libre du Zinc dans le sol
- **ZT** : Zone de tolérance (intervalle de tolérance autour du débit cible)
-



ÉQUIPE DE RÉDACTION

Chambre d'agriculture de l'Aude : Stéphanie Rubio, Gilles Boyer

Chambre d'agriculture de l'Aveyron : Angéline Fabre, Muriel Six

Chambre d'agriculture du Gard : Claire Gaffier

Chambre d'agriculture de la Haute-Garonne : Daniel Mansas, Bernard Huntz

Chambre d'agriculture de l'Hérault : Marie Castagnet, Sarah Morisset

Chambre d'agriculture du Lot : Léonie Gonzalez

Chambre d'agriculture de la Lozère : Laure Gomita

Chambre d'agriculture des Pyrénées Orientales : Estelle Gorius

Chambre d'agriculture du Tarn-et-Garonne : Camille Coste

Remerciements à Jean-Claude Platon de la FDCUMA 12 pour sa contribution.

Coordination : Chambre régionale d'agriculture Occitanie - Julie Bodeau

Design graphique : Josépha Juvin (www.atelierjosephajuv.in.art)

Crédits photos (couverture) : Chambres d'agriculture

Crédits photos (intérieur) : Federico Respini (p.19), Nikola Jovanovic (p.35), Hassan Albari (p.54), Artem Podrez (p.67), Tetyana Kovyrina (p.86), Freestockorg (p.98), Lexie Blessing (p.116)

Crédits pictogrammes : The Noun Project (www.thenounproject.com)

