

OFSAT



Organic
Farming
System
Assessment
Tool

Un outil de composition et d'évaluation des systèmes de cultures biologiques pour les conseillers

2 Documentation de description du calcul des indicateurs implémentés dans OFSAT



INRA
SCIENCE & IMPACT



**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRES D'AGRICULTURE
MIDI-PYRÉNÉES

L'outil **OFSAT** (*Organic Farming System Assessment Tool*) a été développé dans le cadre du projet CITODAB (PSDR₃ Midi-Pyrénées), co-financé par l'INRA et la Région Midi-Pyrénées et avec le soutien du Compte d'affectation spéciale pour le développement agricole et rural (CASDAR).

Ce projet repose sur un partenariat durable entre l'INRA, la Chambre régionale d'agriculture de Midi-Pyrénées et les Chambres d'agriculture départementales de la Région Midi-Pyrénées.

Le collectif de travail était constitué de : Bruno Colomb (INRA), Marie-Hélène Charron-Moirez (INRA), Anne Glandières (Chambre régionale d'agriculture de Midi-Pyrénées), Jean Arino (Chambre d'agriculture du Gers), Lise Billy (Chambre d'agriculture des Hautes-Pyrénées), Sylvain Collet (Chambre d'agriculture de Haute-Garonne), Éric Rossignol (Chambre d'agriculture de l'Ariège) et de Sophie Tuyeres (Chambre d'agriculture du Tarn-et-Garonne).

La valorisation de l'outil a été soutenue financièrement par l'INRA, la Région Midi-Pyrénées, le Fonds européen de développement régional (FEDER) et le GIS TOULOUSE AGRICAMPUS.

L'outil **OFSAT** se compose :

> D'une interface logicielle et d'une base de données en ligne

> et de **trois publications** :

1. Origine et spécificités de l'outil OFSAT
2. Documentation de description du calcul des indicateurs implémentés dans OFSAT
3. Manuel d'utilisation OFSAT

Pour citer ce document

Colomb B., Charron-Moirez M.-H., Glandières A., Kouzmine Y., (2013), 2. *Documentation de description du calcul des indicateurs implémentés dans OFSAT*, Projet CITODAB (PSDR₃ Midi-Pyrénées), 42p.

Conception-réalisation : Yaël Kouzmine (INRA Toulouse Midi-Pyrénées)

Crédit photographique couverture : P. Saulas /INRA

© INRA/Chambre régionale d'agriculture de Midi-Pyrénées/2013

■ **Sommaire**

Introduction	p4
1. Rentabilité économique	p5
2. Contribution à l'emploi (EMP).....	p7
3. Approche de la Maîtrise de l'état structural du sol (MESS)	p9
4. Approche de la maîtrise des adventices (MDA)	p15
5. Indicateur Matière organique (IMO).....	p23
6. Pression sur l'eau (PSEAU).....	p31
7. Conservation des micro-organismes du sol (CMOS)	p35
Table des figures.....	p38
Table des tableaux.....	p38
Table des matières.....	p40

■ Introduction

Sept indicateurs ont été incorporés dans cette version initiale du prototype OFSAT. Le choix a été réalisé avec les conseillers agricoles afin que soient représentées :

- Les diverses dimensions économique, sociale, agronomique et environnementale
- Les diverses techniques d'évaluation des indicateurs (calcul ou expertise)

Ces indicateurs considérés ici sont les suivants :

Domaine socio-économique

- > Rentabilité économique
- > Contribution à l'emploi

Domaine agronomique

- > Maîtrise de l'état structural du sol
- > Maîtrise des adventices

Domaine environnemental

- > Indicateur Matière organique
- > Pression sur l'eau
- > Conservation des micro-organismes du sol

Les techniques d'évaluation proposées sont très simplifiées, en cohérence avec la nécessité de procéder à des évaluations rapides, en présence des agriculteurs, en ayant recours à un minimum d'information ou de références. Elles s'appuient en grande partie sur l'expertise propre des conseillers agricoles, en mesure d'établir les typologies diagnostiques préalables (telle que l'effet concurrentiel des cultures sur les adventices par exemple). De ce fait, les modalités proposées ne sont en rien normatives, et doivent être remplacées par d'autres modalités plus appropriées dans d'autres contextes d'utilisation.



© Pascal Thiébeau /INRA

1. Rentabilité économique



OFSAT

Organic
Farming
System
Assessment
Tool

La rentabilité économique est évaluée *via* le calcul d'un indicateur très proche de la marge semi-nette. La marge brute moyenne pluriannuelle est apparue comme un critère de base simple pour caractériser la rentabilité des systèmes de cultures. Cependant, à marge brute identique ou voisine, des différences économiques notables peuvent apparaître entre systèmes de culture biologiques si l'on tient compte du coût des opérations associées à la maîtrise des adventices.

L'indicateur retenu (**MBSN**) correspond donc à une marge brute (**MB**) de laquelle il est déduit le coût des opérations réalisées spécifiquement pour le contrôle des adventices (**CCA**). La marge brute résulte de la différence entre le produit brut (**PB**) et les charges opérationnelles (**CO**). Le produit brut résulte du produit de la quantité de produit récolté (**RDT**) et vendu par le prix de l'unité de produit vendu (**PUV**). Les charges opérationnelles (**CO**) sont évaluées par la somme des charges relatives aux opérations de semis, fertilisation, irrigation et traitement phytosanitaire.

Pour toute culture :

$$\text{MBSN} = \text{MB} - \text{CCA} = (\text{PB} - \text{CO}) - \text{CCA} \quad \text{€/ha/an}$$

Produit brut : $\text{PB} = \text{RDT} \cdot \text{PUV}$

Les modalités de calcul du coût des opérations prises en compte sont précisées dans le **tableau 1**.

Type d'opération	Formule de calcul des charges spécifiques (€/ha)
Semis	Dose semis * prix
Fertilisation	Dose produit * prix
Irrigation	Facture du volume + facture de l'acheminement
Traitement	Dose produit * prix
Désherbage	Nombre de passages * coût d'une opération

Tableau 1.
Modes de calcul des charges spécifiques par type d'opération

Le calcul de **MBSN** est réalisé en deux temps :

- > on calcule une marge **MBSN** par culture et par hectare (elle peut être négative)
- > on somme cette marge pour toutes les cultures de la rotation pour obtenir une valeur à l'échelle de la succession culturale que l'on moyenne par la durée (en années) de la succession.



© Pascal Thiébeau /INRA

2. Contribution à l'emploi



OFSAT

Organic
Farming
System
Assessment
Tool

Ce critère estime la contribution du système de culture à l'offre locale et au maintien d'emplois. À ce titre, plus un système de culture est exigeant en main d'œuvre (qu'elle soit interne ou externe à l'exploitation) plus la contribution est favorable.

Le critère **EMP** sera qualifié par les classes suivantes : très faible, faible à moyenne, moyenne à élevée, très élevée, en fonction du nombre d'heures nécessaires en moyenne annuelle pour conduire le système de culture.

$$EMP = [\sum_i NH_i] / n$$

Avec :

NH_i : Nombre d'heures de travail/ha effectuées pour l'année i par de la main-d'œuvre interne ou externe à l'exploitation

n : Durée de la rotation en années

Contribution à l'emploi (EMP)	Classe qualitative
EMP ≤ 2 h/ha/an	très faible
2 h/ha/an < EMP ≤ 4 h/ha/an	faible à moyenne
4 h/ha/an < EMP ≤ 6 h/ha/an	moyenne à élevée
EMP > 6 h/ha/an	très élevée

Tableau 2.
Valeurs seuils proposées du temps de travail (h/ha/an) et classes de contribution à l'emploi



© Gilles Cattiau/INRA

3. Approche de la Maîtrise de l'état structural du sol (MESS)



OFSAT

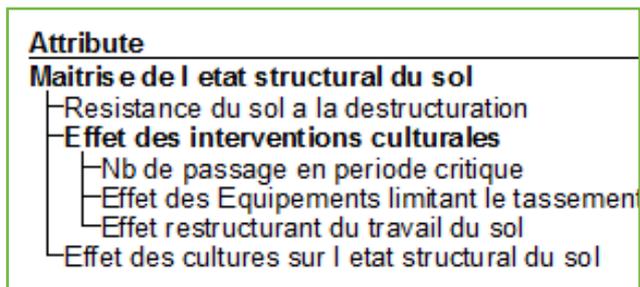
Organic
Farming
System
Assessment
Tool

Ce paragraphe présente une appréciation de la **Maîtrise de l'état structural du sol** des parcelles soumises à des systèmes de grandes cultures biologiques, comme facteur déterminant la fertilité des sols.

Il s'agit d'une approche établie à dire d'expert par une équipe de conseillers en agriculture biologique de la région Midi-Pyrénées¹. Elle ne prétend pas à l'universalité, mais apparaît intéressante pour les principes de raisonnement mis en œuvre, qui peuvent être mobilisés dans d'autres contextes, et comme source de discussion avec l'agriculteur.

L'approche repose sur la prise en considération simultanée de trois critères diagnostics qualitatifs, caractérisant respectivement la **Résistance du sol à la déstructuration**, l'**Effet des interventions culturelles** et l'**Effet des cultures sur la structure du sol** (figure 1). Ces critères sont combinés sous forme d'une arborescence et reliés entre eux par le biais de règles de décision qualitatives (de type « si... alors ») pour obtenir le diagnostic global relatif à l'état structural du sol.

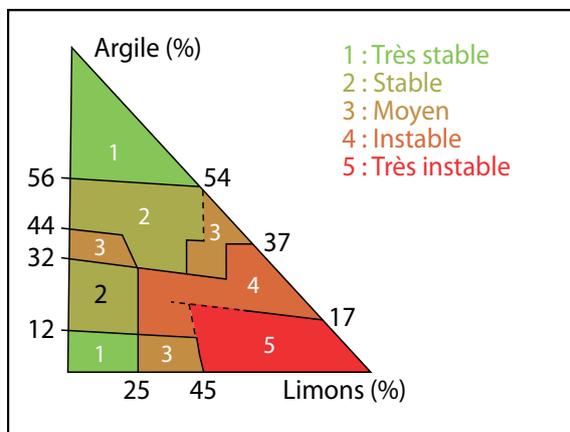
Figure 1.
Sous-modèle DEXi de la maîtrise de l'état structural du sol (MASC AB)



3.1. Résistance du sol à la déstructuration

Ce critère est évalué en trois classes : faible, moyenne, élevée. On renseignera cet indicateur en fonction de la texture du sol à dire d'expert ou en se référant à un triangle de texture interprété en termes de stabilité structurale (figure 2), soit directement à dire d'expert.

Figure 2.
Triangle des textures adapté à l'évaluation de la stabilité structurale



1. Le principe de ce mode d'évaluation par expertise dirigée a été repris dans le modèle MASC 2.0 (Craheix et al., 2012).

Résistance du sol à la destruction	Qualitatif
Argilo-calcaire, sable, alluvions	élevée
Limono-argileux, argilo-limoneux	moyenne
Limons blancs et limons	faible

Tableau 3.
Exemple d'appréciation de la résistance à la déstructuration des principaux sols de la région Midi-Pyrénées

3.2. Effet des interventions culturelles

3.2.1. Les facteurs pris en compte

L'effet des interventions culturelles sur la structure du sol repose sur trois facteurs diagnostics : le **Nombre de passages en période critique**, le recours à des **Équipements limitant le tassement des sols** et l'**Effet restructurant du travail du sol**.

L'effet des interventions culturelles est évalué en trois classes : défavorable, moyennement défavorable et favorable.

3.2.1.1. Le nombre de passages en période critique

Une période critique a été définie comme une période caractérisée par un état hydrique du sol proche ou supérieur à la capacité au champ, état dans lequel le sol est le plus sensible aux pressions associées aux interventions mécaniques (selon les limites d'Atterberg). Le nombre de passages avec des engins agricoles durant cette période est évalué, en tenant compte de la durée et de la localisation de la période critique et des itinéraires techniques appliqués aux cultures.

Cet indicateur est apprécié en trois classes de jugement possible (élevé, moyen, faible).

Le nombre de passages en période critique (**NPC**) est déterminé en réalisant une moyenne annuelle du nombre de passages en période critique sur la rotation :

$$\text{NPC} = \sum i (\text{NPC}_i) / n$$

Avec :

NPC_i = nombre de passages en période critique l'année *i*

n = durée en année de la rotation

Les seuils utilisés pour qualifier le nombre de passages en période critique sont paramétrés à dire d'expert.

Nombre de passage en période critique (NPC)	Qualitatif
$NPC \geq 3$	élevé
$1,5 \leq NPC < 3$	moyen
$NPC < 1,5$	faible

Tableau 4.
Valeurs seuils proposées pour le nombre de passages en période de sensibilité critique du sol au tassement.

3.2.1.2. Effet des équipements limitant le tassement

Ce critère peut être qualifié de faible, moyen ou élevé en fonction du matériel utilisé.

Équipement limitant le tassement	Qualitatif
Absence d'équipement limitant le tassement	faible
Pneus semi-basse pression	moyen
Jumelage	élevé

Tableau 5.
Catégorie d'équipement des roues de tracteur et effet de limitation des risques de tassement

3.2.1.3. Effet restructurant du travail du sol

Cet indicateur capture la présence ou non d'opérations culturales ayant pour effet une restructuration profonde du sol.

Effet structurant du travail du sol	Qualitatif
Absence ou travail profond réalisé moins d'une fois par an	absence
Labour ou travail profond (décompactage) au moins une fois par an	présence

Tableau 6.
Qualification de la présence ou absence d'opérations de travail du sol susceptibles de le restructurer en profondeur

3.2.2. Combinaison des facteurs pour déterminer l'effet des interventions culturales

L'Effet des interventions culturales sera jugé défavorable, moyennement favorable ou favorable. Le diagnostic est réalisé par combinaison des trois critères de base : **Nombre de passages en période critique**, **Effet restructurant du travail du sol** et **Effet des équipements limitant le tassement**. Ces critères ayant respectivement trois, trois et deux modalités, 18 règles sont à spécifier. La pondération entre les trois facteurs, à l'issue de l'écriture des règles qualitatives qui les combinent, est la suivante :

- > *Nombre de passage en période critique* : 30 %
- > *Effet restructurant du travail du sol* : 40 %
- > *Effet des équipements limitant le tassement* : 30 %

3.3 Effet des cultures sur l'état structural du sol

Ce critère est renseigné en attribuant à dire d'expert, dans un premier temps, une note à chaque culture de la rotation en fonction de leur effet améliorant ou dégradant sur la structure du sol. Une note de -2 correspond à un effet très dégradant et une note de +2 correspond à un effet très améliorant.

Effet des couverts sur la structure du sol	Score
Sorgho, maïs, soja irrigué	-1
Soja sec, tournesol, autres céréales, autres légumineuses	0
Colza, féverole, seigle, associations céréales légumineuses	+1
Luzerne 2 ans minimum	+2

Tableau 7.
Notation de l'effet de diverses cultures sur la structure du sol de -2 (très dégradant) à +2 (très améliorant)

Ensuite, on procède à une synthèse à l'échelle du système de culture en réalisant une moyenne de ces notes sur la rotation. La note moyenne (ECS) est ensuite discrétisée en quatre classes (défavorable, neutre, favorable et très favorable) pour renseigner le critère **Effet des cultures sur la structure du sol**.

Effet des couverts sur la structure du sol (ECS)	Score
$ECS < 0$	Défavorable
$ECS = 0$	Neutre
$0 < ECS < 1$	Favorable
$ECS \geq 1$	Très favorable

Tableau 8.
Valeurs seuils de la note moyenne des effets des cultures sur la structure du sol et qualification de l'effet global à l'échelle de la rotation

3.4. Diagnostic général de maîtrise de l'état structural du sol

L'agrégation des trois indicateurs qualitatifs, caractérisant respectivement, la **Sensibilité du sol à la destruction**, l'**Effet des interventions culturelles** et l'**Effet des cultures sur la structure du sol**, permet de réaliser le diagnostic de maîtrise de l'état structural du sol. Les indicateurs de base ayant respectivement trois, trois et quatre classes, 36 règles sont à spécifier.

Ce critère est évalué en quatre classes : très faible, faible à moyenne, moyenne à élevée et très élevée.

La pondération résultante des trois facteurs pris en compte est la suivante :

- > **Résistance du sol à la destructuration** : 34 %
- > **Effet des interventions culturelles** : 30 %
- > **Effet des cultures sur la structure du sol** : 36 %



© Gilles Cattiau/INRA

4. Approche simplifiée de la maîtrise des adventices (MDA)



OFSAT

Organic
Farming
System
Assessment
Tool

Cette partie présente une approche qualitative du niveau de maîtrise des adventices dans les parcelles soumises à des systèmes de grandes cultures biologiques.

L'approche repose sur la prise en considération simultanée de deux critères agrégés : l'**état initial de maîtrise de l'infestation par les mauvaises herbes** et la **pression du système de culture sur les adventices**. Chacun de ces critères fait l'objet d'une décomposition en sous-critères présentée dans la **figure 3**. Ces indicateurs sont combinés sous forme d'une arborescence et reliés entre eux par le biais de règles de décision qualitatives pour obtenir le diagnostic global relatif au risque de développement des adventices dans le système de culture².

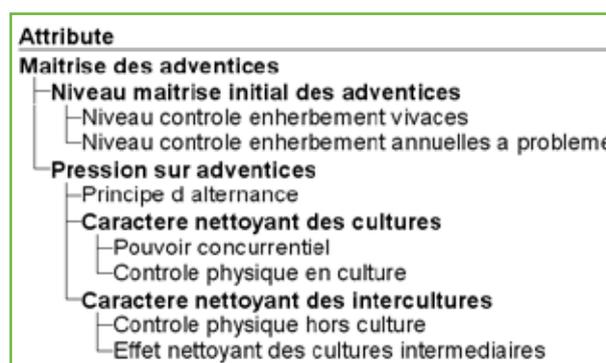


Figure 3.
Sous-modèle DEXi « Maîtrise des adventices » (MASC AB)

4.1 Niveau de maîtrise initiale des adventices

Le **Niveau de maîtrise initiale des adventices** se rapporte au degré de contrôle du développement des adventices dans la parcelle au moment où le nouveau système de culture est mis en place. L'état initial d'enherbement est spécifié à l'aide de deux sous-critères relatifs au niveau de développement des adventices vivaces et annuelles.

4.1.1. Niveau de contrôle de l'enherbement par les vivaces

Les adventices vivaces sont difficiles à maîtriser et font l'objet d'une attention très particulière en agriculture biologique (chardon, chiendent, liseron, rumex, etc.). Cet enherbement est caractérisé à dire d'experts et les situations sont discriminées en cinq classes (très faible, faible, moyen, élevé et très élevé) en fonction du niveau d'enherbement observé.

². Un mode d'évaluation similaire a été retenu pour le modèle MASC 2.0.

4.1.2. Niveau de contrôle de l'enherbement par les annuelles à problèmes

Ce critère porte sur le niveau d'enherbement par des annuelles dites à problèmes dans les contextes analysés (ravenelles, ray-grass, folle avoine, vulpin, ambroisie, datura, avoine à chapelets, chénopode, etc.). Ces mauvaises herbes annuelles contrairement aux autres annuelles présentent des difficultés de gestion particulières. Comme pour le critère **Niveau contrôle enherbement par les vivaces**, on discriminerà les situations en cinq classes de niveau d'enherbement initial (très faible, faible, moyen, élevé et très élevé). Les situations sont discriminées dans ces classes à dire d'experts et d'agriculteurs en fonction du niveau de développement des espèces concernées.

4.1.3. Combinaison des critères relatifs à Niveau de maîtrise initiale des adventices

Le niveau d'enherbement initial sera jugé très faible, faible, moyen, élevé, ou très élevé. Les critères **Niveau contrôle enherbement par les vivaces** et **Niveau contrôle enherbement par les annuelles à problèmes** ont cinq classes chacun. Il conviendra donc de spécifier 25 règles de décision.

4.2. Pression sur les adventices

Cet attribut agrégé estime la pression globale exercée par le système de culture sur le développement des adventices. La pression du système de culture est évaluée à partir de trois critères : le **Principe d'alternance**, le **Caractère nettoyant des cultures** et le **Caractère nettoyant des intercultures**.

4.2.1 Principe d'alternance

Le principe d'alternance est un des facteurs qui joue un rôle majeur dans la maîtrise des adventices. Ce principe a été quelque peu oublié avec l'utilisation des herbicides chimiques, mais il regagne de l'intérêt dans le contexte de gestion intégrée des cultures et notamment en agriculture biologique. L'alternance des cultures permet de perturber le cycle des adventices et ainsi d'éviter la sélection d'une flore spécifique (ITAB, 2005).

Nous proposons ici une formalisation du principe d'alternance dans le cadre de l'évaluation qualitative de la maîtrise des adventices à travers un schéma d'expertise réalisé par des conseillers agricoles spécialisés en agriculture biologique.

L'indicateur de respect du principe d'alternance est jugé selon cinq modalités : très faible, faible, moyen, élevé et très élevé.

Au sein des successions culturales ou des rotations, on distingue les cultures présentes dans la succession en fonction de leur période de semis et de leur cycle cultural :

- > Cultures de printemps
- > Cultures d'hiver
- > Cultures pluriannuelles (luzerne, etc.)

Processus d'évaluation du principe d'alternance pour une succession culturale :

Le processus repose sur l'évaluation du nombre de violations du principe d'alternance à l'échelle de la rotation. Une violation de ce principe correspond à une interculture au cours de laquelle l'alternance n'est pas respectée, c'est-à-dire pour toute interculture se situant entre deux cultures de même cycle (ex : Printemps-Printemps). Si une des cultures qui encadre l'interculture étudiée est pluriannuelle, il ne peut pas y avoir violation du principe d'alternance.

Pour étudier l'application du principe d'alternance pour des successions culturales, on prend pour hypothèse leur reconduction dans le temps à l'identique sur le long terme. Ainsi, l'interculture entre la dernière et la première culture des successions est étudiée.

Le premier paramètre pris en compte est le nombre d'intercultures (*nitc*) dans la succession (il est égal au nombre de cultures puisque l'interculture entre la dernière et la première culture des successions est étudiée).

Il faut ensuite classer chaque violation du principe d'alternance observée dans la succession culturale par type, c'est-à-dire par sa durée *d* (en nombre d'intercultures successives faisant l'objet d'une violation) et compter le nombre de violations de chaque type *nv(d)*.

On calcule tout d'abord une note partielle *NotePartielle(d)* du non-respect du principe d'alternance pour chaque type de violation : cette note partielle dépendra de la fréquence spécifique d'apparition *Freq(d)* de la violation sur la rotation et de sa dangerosité *Danger(d)*. On considère que la dangerosité d'une violation augmente avec sa durée.

Ces paramètres sont définis pour toute violation de durée *d* :

$$Freq(d) = nv(d) * d/nitc$$

$$Danger(d) = (\sqrt{d} - (d - 1)/7)/2$$

$$NotePartielle(d) = Freq(d) * Danger(d)$$

Une fois que les notes partielles de chaque type de violation de la succession sont établies, elles sont sommées pour obtenir la note globale NoteNR de non-respect du principe d'alternance de la succession :

$$\text{NoteNR} = \sum(\text{NotePartielle}(d)) \text{ comprise entre 0 et 1 inclus.}$$

On obtient ensuite une note finale **Note de respect du principe d'alternance** comprise entre 0 et 5 grâce à la formule suivante :

$$\text{Note} = 5 * (1 - \text{NoteNR})$$

Cette note permet d'évaluer le respect du principe d'alternance de la succession étudiée en attribuant à cette succession une modalité d'évaluation en suivant la règle de décision suivante :

- > Très faible : Note < 2.5
- > Faible : 2.5 <= Note < 3.5
- > Moyen : 3.5 <= Note < 4.15
- > Elevé : 4.15 <= Note < 4.7
- > Très élevé : Note >= 4.7

Dans le cas où l'utilisateur n'aurait saisi qu'une culture, mais veut tout de même une évaluation de la maîtrise des adventices (par exemple pour comparer l'effet de deux cultures sur la gestion des adventices), on attribue la note Très faible par défaut au critère principe d'alternance, sauf s'il s'agit d'un couvert prairial continu, auquel cas la valeur est à l'opposé très élevé.

4.2.2. Caractère nettoyant des cultures

Cette notion recouvre l'effet global de la culture et des techniques associées sur le développement des adventices. Le **Caractère nettoyant des cultures** est décomposé en deux sous-critères : le **Pouvoir concurrentiel des cultures** et le **Contrôle physique en culture**.

4.2.2.1. Pouvoir concurrentiel des cultures

Le pouvoir concurrentiel des cultures traduit l'aptitude des cultures de la rotation à limiter le développement des adventices. Ce pouvoir résulte à la fois de la compétition directe de la culture pour l'utilisation des ressources (lumière, eau, azote, etc.) et de son caractère allélopathique éventuel à l'égard d'autres plantes. Le pouvoir couvrant d'une culture est déterminé par plusieurs facteurs : l'espèce cultivée; la variété (largeur, nombre et port

des feuilles); la densité du peuplement (fonction de l'écartement si semis en ligne). Le pouvoir concurrentiel des cultures à l'échelle de la rotation est évalué à dire d'experts en fonction de l'effet individuel des cultures sur le contrôle des adventices, en tenant compte de leur fréquence dans la rotation. Pour l'expertise, on peut s'appuyer sur la **figure 4**. Le critère **Pouvoir concurrentiel des cultures** sera jugé très faible, faible, moyen ou élevé.

Effet des cultures sur le contrôle des adventices	Adventices vivaces	Adventices annuelles
Très faible	Soja, pois, lentilles, lupin	Soja, pois, lentilles
Faible	Maïs, blé tendre, blé dur, féverole, orge, sorgho, lin, petit épeautre, pois chiche	Maïs, sorgho, petit épeautre, lupin
Moyen	Tournesol, colza, grand épeautre, seigle, triticale, avoine d'hiver	Blé tendre, blé dur, orge, féverole, lin, pois chiche
Élevé	Sarrasin, vesce, associations céréales-légumineuses	Tournesol, avoine, triticale, seigle, colza, grand épeautre, vesce, associations céréales-légumineuses
Très élevé	Luzerne, chanvre	Luzerne, chanvre, sarrasin

Figure 4.
Estimation de l'effet des cultures sur le contrôle des adventices

4.2.2.2. Contrôle physique en culture

Ce critère estime l'effet des interventions de désherbage réalisées dans la culture. Il peut être évalué à dire d'experts à partir de l'étude des opérations culturales de désherbage opérées dans la culture. En effet, le type de matériel et le nombre d'interventions influencent de façon importante le contrôle physique en culture : labour, binage, hersage, passage d'écroûteuse contribuent à cette maîtrise de manière plus ou moins efficace en fonction des conditions de passage. Compte tenu de l'importance de ces conditions dans l'efficacité des opérations de contrôle mécanique, il est difficile de proposer un mode d'évaluation formel pour estimer le degré de contrôle des adventices à partir de la liste et du nombre d'opérations réalisées en culture. On s'exprimera donc directement à dire d'expert sur ce critère, dont l'échelle d'évaluation comporte quatre classes : très faible, faible, moyen ou

élevé en tenant compte de l'efficacité des outils utilisables pour le contrôle :

- > Pour les cultures vivaces : broyeur, faucheuse, bineuse et herse étrille
- > Pour les cultures annuelles : faucheuse, broyeur, bineuse, herse étrille et houe rotative

4.2.2.3. Combinaison des critères pour l'évaluation du Caractère nettoyant des cultures

Le Caractère nettoyant des cultures sera jugé très faible, faible, moyen, ou élevé. Le diagnostic est réalisé par agrégation équilibrée (poids de 50%) des critères **Pouvoir concurrentiel des cultures** et le **Contrôle physique en culture**. Chacun ayant quatre classes, 16 règles sont à spécifier dans la fonction d'utilité.

4.2.3. Caractère nettoyant des intercultures

Ce critère reflète la contribution de la gestion de l'interculture sur la pression globale des adventices. Ce critère résulte de l'agrégation de deux facteurs : le **Contrôle physique hors culture** et l'**Impact des cultures intermédiaires**. Ce critère est discrétisé en quatre classes : très faible, faible, moyen, élevé.

4.2.3.1. Contrôle physique hors culture (en interculture)

Le **Contrôle physique hors culture** englobe l'effet global des interventions mécaniques réalisées durant les intercultures sur les adventices (labour, déchaumage, faux semis, etc.). Ce critère est discrétisé en quatre classes : très faible, faible, moyen et élevé. Cet indicateur pourra être évalué à dire d'experts par une approche semblable à l'évaluation de l'indicateur **Contrôle physique en culture**.

4.2.3.2. Effet nettoyant des cultures intermédiaires

Ce critère reflète l'effet global des cultures intermédiaires sur les adventices, il possède également quatre modalités : très faible, faible, moyen et élevé. L'effet global intègre des effets positifs (pouvoir couvrant) ou négatifs (éventuellement associé à des difficultés de destruction du couvert ou à un envahissement par les adventices en cas de mauvaise implantation) des cultures intermédiaires. Cet indicateur peut être évalué à dire d'experts par une approche semblable à l'évaluation de l'indicateur **Pouvoir concurrentiel** (Cf. 4.2.2.1).

4.2.3.3. Combinaison des critères pour l'évaluation du caractère nettoyant des intercultures

Le **Caractère nettoyant des intercultures** sera jugé très faible, faible, moyen ou élevé. Le diagnostic est réalisé par combinaison des indicateurs de base **Contrôle physique hors culture** et **Impact des cultures intermédiaires**. Chacun ayant quatre classes, 16 règles sont à spécifier dans la fonction d'utilité. La pondération des deux facteurs qui en résulte est de 50%.

4.2.4. Combinaison des critères pour évaluer la pression du système de culture sur les adventices

La **Pression sur les adventices** du système de culture sera jugée très faible, faible, moyenne, élevée ou très élevée. Le diagnostic est réalisé par agrégation des critères de base, **Caractère nettoyant des cultures**, **Caractère nettoyant des intercultures**, **Principe d'alternance**. Ceux-ci ayant respectivement quatre, cinq et cinq classes, 80 règles de décision sont à spécifier dans la fonction d'utilité. La pondération des critères résultante des règles qualitatives d'agrégation proposée est la suivante :

- > **Caractère nettoyant des cultures** : 32 %
- > **Caractère nettoyant des intercultures** : 32 %
- > **Principe d'alternance** : 36 %

4.3. Diagnostic général de la maîtrise des adventices dans les systèmes de culture

L'agrégation des deux indicateurs qualitatifs **État Initial adventice** et **Pression sur les adventices** permet de déterminer l'attribut **Maîtrise des adventices**. Les deux critères ayant chacun cinq classes, 25 règles sont à spécifier, leur poids dans l'agrégation est le même (50% chacun).

Ce critère est évalué en quatre classes : très faible, faible, moyenne et élevée.

4.4. Références bibliographiques

Institut Technique de l'Agriculture Biologique (2005). *Maîtriser les adventices en grandes cultures biologiques*, Guide technique de l'ITAB. Paris. 112 pages



© Gilles Louviot / INRA

5. Indicateur Matière organique (IMO)



OFSAT

Organic
Farming
System
Assessment
Tool

Il correspond à l'indicateur **IMO** de la méthode INDIGO. Ce dernier vise à porter un jugement sur l'impact à long terme du système de culture sur la teneur en matière organique stable (**MOS**) du sol (humus). Bien qu'il existe divers modèles d'évaluation de cet impact à caractère mécaniste (AMG, ROTH), le choix de l'indicateur **IMO** correspond à un souci de simplicité, cohérent avec l'ensemble de l'évaluation du système de culture.

Le calcul est fait algorithmiquement en conformité avec les modalités exposées dans le document de référence INDIGO (Bockstaller et Girardin, 2008). Les valeurs des paramètres sont celles proposées par les auteurs dans le même document. Deux changements ont toutefois été adoptés :

1 - **Le calcul est effectué pour toutes les cultures de la succession culturale évaluée**, et pas seulement pour les quatre dernières pratiquées sur la parcelle comme indiqué dans le document de référence d'INDIGO.

2 - **Les valeurs relatives aux taux de matières organiques stables souhaitables (TES) qui interviennent dans le calcul sont inférieures à celles proposées par Bockstaller et Girardin dans le document de référence**, car considérées comme trop élevées et pratiquement inatteignables dans les sols de grandes cultures biologiques. Les valeurs retenues sont basées sur les abaques de Rémy et Marin-Laflèche (1974), qui donnent les taux de matières organiques souhaitables en fonction de la teneur en argile et en CaCO_3 des sols. Nous avons retenu la courbe « f » de cette abaque comme la courbe correspondant aux teneurs souhaitables (et non la courbe S comme le proposent les auteurs d'INDIGO, ce qui revient à diminuer les teneurs par un coefficient moyen de 0.85).

L'**IMO** dérive du rapport entre deux quantités de **MOS** évaluées séparément :

$$\text{IMO} = 7 \cdot (\text{AX} / \text{AR})$$

Avec :

AX : la quantité de **MOS** annuelle moyenne délivrée par le système de culture (kg MOS/ha/an), calculée en comptabilisant les apports de **MOS** dus aux résidus de récolte et les apports issus de l'application de matières organiques (fertilisants et amendements) sur la parcelle.

AR : la quantité de **MOS** annuelle moyenne (kg MOS/ha/an) qu'il serait nécessaire pour maintenir le taux de **MOS** du sol à un niveau stable jugé satisfaisant.

Après calcul de l'indicateur **IMO** d'INDIGO, qui peut prendre des valeurs de 1 à 10, l'indicateur **IMO** de OFSAT est obtenu par discrétisation de la manière suivante ([tableau 9](#)).

I_{MO}	Classe qualitative IMO OFSAT
$IMO < 4$	Très faible
$4 \leq IMO < 7$	Faible à moyenne
$7 \leq IMO < 9$	Moyenne à élevée
$9 \leq IMO$	Très élevée

Tableau 9.
Valeurs seuils de l'indicateur IMO et qualification de l'effet du système de culture sur l'état organique du sol

5.1. Calcul des valeurs d'apports de MOS recommandées (A_R)

Ce paragraphe est une reprise simplifiée de la documentation de référence INDIGO.

Les apports moyens nécessaires (A_R) pour maintenir à long terme une teneur satisfaisante (TES) sont donnés par l'expression :

$$A_R = TES (k_2 \cdot T) \cdot P$$

Dans l'équation ci-dessus P est un facteur de pondération **P** de la minéralisation (Cf. 5.3) Pour les valeurs satisfaisantes TES, on se propose de prendre les valeurs dérivées des abaques de Rémy et Marin-Lafèche (1974) ([tableau 10](#)).

Taux d'argile	TES (mg/kg)
[0-100[20.8
[100-150[18.7
[150-200[17
[200-250[17
[250-300[17
[300-350[17
[350-400[18.7
[400-450[20.8
[450-500[23.4
≤ 500	25.9

Tableau 10.
Tableau des valeurs de TES en fonction des valeurs du taux d'argile

Le coefficient k_2 est calculé par la formule utilisée dans le logiciel AZOBIL (Mary et Guerif, 1994) :

$$k_2 = 1200 \cdot f_{\theta} \cdot /((200 + A) \cdot (200 + 0,3 \cdot C))$$

avec :

f_{θ} : facteur température $f_{\theta} = 0,2 (T^{\circ}\text{C} - 5)$

A : taux d'argile (en g/kg)

C : taux de calcaire (en g/kg)

$T^{\circ}\text{C}$: température annuelle moyenne du lieu

k_2 est calculée en situation d'enfouissement des résidus de culture et d'absence d'apport organique. La prise en compte de ces deux variables du système de culture se fait dans le facteur de pondération P .

La masse de terre T est estimée à partir de la densité apparente (da) et une profondeur de labour fixée à 30 cm (**prolab**, en m). Cette valeur être pondérée par la profondeur réelle de labour et par le pourcentage de cailloux (**caill**, en g/kg).

$$T = 10000 \cdot \text{prolab} \cdot da (1000 - \text{caill})/1000$$

Le facteur de pondération P dans la formule générale de l'indicateur se décompose en plusieurs facteurs :

$$P = pr \cdot fr \cdot I \cdot TS$$

Avec :

pr : facteur tenant compte de la profondeur de labour maximale sur la succession (prolab en m), les calculs étant obtenus pour une profondeur de 30 cm.

On a : **pr** = prolab/30.

fr : facteur système de culture pondérant en fait le coefficient k_2 . Les valeurs issues de AZOBIL (Mary et Guerif, 1994) sont données dans le **tableau 12** en fonction du devenir des résidus (spécifié avec la variable DRS) et la fréquence d'apport des amendements (spécifié avec la variable FAO). Les valeurs possibles de DRS et FAO sont spécifiées dans le **tableau 11**.

Devenir des résidus de récolte (DRS)	DRS = 1 si résidus toujours enlevés ou brûlés
	DRS = 2 si résidus pas toujours enfouis ni enlevés
	DRS = 3 si résidus toujours enfouis
Fréquence des apports organiques (FAO)	FAO = 1 si fréquence $\leq 1/10$
	FAO = 2 si $1/5 \leq$ fréquence $< 1/10$
	FAO = 3 si $1/3 \leq$ fréquence $< 1/5$
	FAO = 4 si fréquence $> 1/3$

Tableau 11.
Définition des valeurs de DRS, devenir des résidus de récoltes et de FAO, fréquence des apports d'amendements organiques

FAO	DRS	fr
1	1	0.8
	2	0.9
	3	1
2	1	0.9
	2	1
	3	1.1
3	1	1
	2	1.1
	3	1.2
4	1	1.1
	2	1.2
	3	1.3

Tableau 12.
Valeurs de fr en fonction du devenir des résidus de récoltes (DRS)
et de la fréquence des apports d'amendements organiques (FAO)

I : facteur de pondération prenant en compte l'augmentation de la minéralisation dû à l'irrigation. On propose $I = 1,25$ d'après des résultats de Delphin (1989), $I=1$ si le système de culture n'est pas irrigué.

Ts : facteur de pondération prenant en compte l'influence du travail du sol. Celui joue principalement sur la minéralisation (k_2).

- > Si la parcelle est labourée au moins une fois durant les quatre années :
(fréquence $\geq \frac{1}{4}$) $Ts = 1$
- > Sinon, si au moins une fois du travail superficiel : $Ts = 0,8$
- > Sinon : $Ts = 0,5$

5.2. Calcul des apports moyens de MOS (Ax) associés à un système de culture

Les apports de **MOS** comptabilisent les apports associés aux résidus de cultures et les apports associés aux fertilisants ou amendements organiques épandus sur la parcelle.

5.2.1. Apports de MO stable (kg/ha) associés à une culture i : $MOS_{cult i}$

Il s'agit de la somme des apports de **MOS** des parties aériennes enfouies et des parties souterraines des cultures non exportées de la parcelle. Outre le rendement de la culture (précisé lors de la saisie d'une culture), les données de calcul nécessaires sont insérées

dans la table de référence Couvert d'OFSAT :

- > Teneur en eau de la récolte aux normes **NHG** (pour calcul de la biomasse de grains sèche)
- > Indice de récolte **IR** (pour passage du rendement à la biomasse aérienne hors grain)
- > Rapport **RSR** entre les biomasses aériennes (*bma*) et racinaires (*bmr*)
- > Coefficients de passage de la biomasse aérienne à une masse de matière humique stable (« coefficients *k_{1_PA}* »)
- > Coefficients de passage de la biomasse racinaire à une masse de matière humique stable (« coefficients *k_{1_PR}* »)

Soit **Rdt** le rendement d'une culture exprimé au taux d'humidité aux normes **NHG** (ex : 15 %). Dans OFSAT, l'unité du rendement est le quintal par hectare.

La biomasse aérienne de la culture est donnée par, en tenant compte de l'indice de récolte :

$$\mathbf{bma} = 100 \cdot \mathbf{Rdt} \cdot [(100 - \mathbf{NHG}) / 100] \cdot \mathbf{IR} \quad (\mathbf{kg/ha})$$

La biomasse racinaire de la culture est donnée par :

$$\mathbf{bmr} = \mathbf{bma} \cdot \mathbf{RSR}$$

Si les parties aériennes sont enfouies, les apports de **MOS** associés à la culture sont donnés par :

$$\mathbf{MOS_cult\ i} = (\mathbf{bma} \cdot \mathbf{k_{1_PA}}) + (\mathbf{bmr} \cdot \mathbf{k_{1_PR}}) \quad (\mathbf{kg/ha})$$

Si les parties aériennes ne sont pas enfouies (donc brûlées ou exportées), les apports de **MOS** associés à la culture sont donnés par :

$$\mathbf{MOS_cult\ i} = (\mathbf{bmr} \cdot \mathbf{k_{1_PR}}) \quad (\mathbf{kg/ha})$$

5.2.2. Apports de MO stable (kg/ha) associés à un amendement *j* : **MOS_{amdt j}**

La nature et la dose d'apport des amendements sont précisées lors de la description des opérations culturales associées à un système de culture. Les autres données nécessaires sont tirées de la table de référence Fertilisation.

$$\mathbf{MOS_amdt\ j} = \mathbf{QT_amdt} \cdot \mathbf{TMS_orga} \cdot \mathbf{k_{1_MO}} \quad (\mathbf{kg/ha})$$

avec :

QT_{amdt} : Quantité d'amendement brute apportée (en kg/ha)

TMS_{orga} : Teneur en matière sèche organique de l'amendement

k_{1_MO} : Coefficient *k₁* de productivité de la MO brute de l'amendement en MO stable

5.2.3. Apport annuel moyen (Ax) de MO stable à l'échelle de la succession culturale

Soit **MOS_amdt** l'apport total de **MOS** par les amendements sur la rotation et **MOS_cult** l'apport total de **MOS** par les résidus de cultures sur l'ensemble de la succession culturale d'une durée de n années.

$$Ax = (\text{MOS}_{\text{cult}} + \text{MOS}_{\text{amdt}})/n \quad (\text{kg/ha/an})$$

5.3. Références bibliographiques

Bockstaller C. & Girardin P., 2008. Mode de calcul des indicateurs agri-environnementaux de la méthode indigo®. UMR Nancy-Université-INRA Agronomie et Environnement Nancy-Colmar BP 20507 68021 COLMAR Cedex.

Mary & Guérif, 1994. « Intérêts et limites des modèles de prévision de l'évolution des matières organiques et de l'azote dans le sol . *Cahiers Agricultures*. 3 : 247-257.

Rémy J. C. & Marin-Lafèche R. 1974 - « Analyse de terre : réalisation d'un programme d'interprétation automatique ». *Annales Agronomiques* 1974. 25 (4) : 607-632.



© Gilles Louviot /INRA

6 Pression sur l'eau (PSEAU)



OFSAT

Organic
Farming
System
Assessment
Tool

Il s'agit d'une reprise de l'indicateur utilisé dans MASC 2.0. L'approche repose sur la prise en considération simultanée de deux critères agrégés : la **consommation d'eau en période critique** et la **dépendance vis-à-vis de la ressource en eau** (figure 5). Le critère **Dépendance vis-à-vis de la ressource en eau** fait l'objet d'une décomposition en deux sous-critères présentés dans la figure 5. Ces indicateurs sont combinés sous forme d'une arborescence et reliés entre eux par le biais de règles de décision qualitatives pour obtenir le diagnostic global relatif à la pression sur l'eau.

Le critère agrégé PSEAU sera qualifié en quatre classes : très élevée, moyenne à élevée, faible à moyenne et très faible.

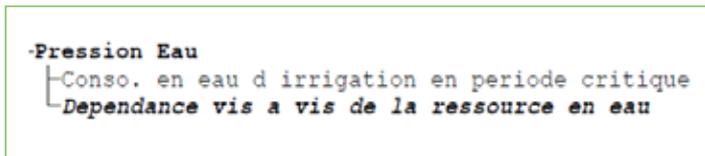


Figure 5.
Critère Pression Eau (MASC V2.0)

6.1. Consommation d'eau en période critique (IRRC)

Ce critère correspond à la moyenne des consommations en eau d'irrigation effectuées en périodes critiques, pour les diverses cultures de la rotation. Le début et la fin des périodes critiques sont appréciés régionalement (période estivale en général). En région Midi-Pyrénées la période critique se situe du 15/06 au 1/11. La valeur moyenne est qualifiée en utilisant des valeurs seuils critiques de consommation (tableau 13).

$$IRRC = (\text{Somme apports en période critique})/n$$

n : durée de la rotation en année

IMO	Classe qualitative
IMO < 4	très faible
4 ≤ IMO < 7	faible à moyenne
7 ≤ IMO < 9	moyenne à élevée
9 ≤ IMO	très élevée

Tableau 13.
Exemple d'établissement des valeurs-seuils régionales pour délimiter trois classes de consommation d'eau en période critique

6.2. Dépendance ressource en eau (DPEAU)

Soit, on l'évalue directement, à dire d'expert soit en considérant deux facteurs diagnostics selon de l'arbre-satellite suivant (figure 6).

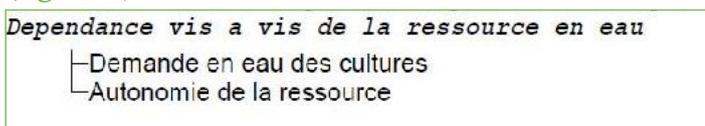


Figure 6.
Arbre satellite Dépendance vis-à-vis de la ressource en eau (MASC V2.0)

6.2.1. Demande en eau des cultures (DMEAU)

Le calcul complet nécessiterait les évapotranspirations maximales (ETM). À dire d'expert, la DMEAU peut être établie pour chaque culture de manière suffisamment précise et discriminante (la valeur est indiquée dans la table culture). Le **tableau 11** rassemble les valeurs proposées pour les principales cultures en région Midi-Pyrénées).

Dans le cas des cultures associées, on prendra le maximum des deux.

La moyenne des DMEAU à l'échelle de la rotation est transformée en trois classes (élevée, moyenne et faible) à partir des seuils de discrimination suivants :

élevée : ≥ 750 mm

moyenne : De 550 à 750 mm

faible : < 550 mm

6.2.2. Autonomie de la ressource (AUTEA)

Cet attribut reflète l'autonomie vis-à-vis de la ressource en eau du système de culture. Cette autonomie est fonction à la fois de la demande en eau du système de culture et de la stratégie d'irrigation (rationnement ou non) de l'agriculteur. Elle est évaluée *via* le rapport moyen annuel entre la quantité d'eau d'irrigation apportée et la demande en eau du système de culture :

$$AUTEA = [\sum_i \{1 - (I_i/DMEAU_i)\}]/n$$

Avec :

I_i : Quantité d'eau d'irrigation apportée au cycle cultural i en mm

DMEAU_i : Demande en eau des cultures pour le cycle cultural i en mm

n : durée de la rotation en année

Le calcul de l'indicateur est effectué comme suit en deux temps :

- > Pour chaque année, on soustrait de 1 le rapport entre les apports d'eau et la somme des DMEAU des couverts présents cette année là pour toutes les opérations d'irrigation comprises entre la première opération de la succession et la dernière récolte.
- > On fait la moyenne des valeurs précédemment calculées (sur la durée de la rotation en année).

AUTEA est traduit en appréciation qualitative (faible, moyenne, élevée et très élevée) à l'aide des seuils suivants :

très élevée : 100%

élevée : $100\% > \geq 85\%$

moyenne : $85\% > \geq 75\%$

faible : $> 75\%$

Couvert	DMEAU (mm/ha)
Avoine d'hiver	750
Avoine de printemps	750
Avoine diploïde	750
Blé dur	750
Blé tendre d'hiver	750
Chanvre	300
Colza	750
Féverole d'hiver	650
Féverole de printemps	650
Grand épeautre	700
Lentilles	450
Lin	700
Lupin d'hiver	650
Luzerne (3 ans)	2 000
Maïs en sec	550
Maïs irrigué	550
Orge d'hiver	750
Orge de printemps	750
Petit épeautre	650
Pois chiche	400
Pois de printemps	600
Pois fourrager	600
Sarrasin	700
Seigle	700
Soja irrigué	480
Sorgho	500
Tournesol	450
Trèfle blanc	1 100
Trèfle violet	1 500
Triticale	750
Vesce	650

Tableau 14.
Tableau des valeurs des DMEAU par culture



© Gilles Louviot /INRA

7. Conservation des micro-organismes du sol (CMOS)



OFSAT

Organic
Farming
System
Assessment
Tool

L'approche repose sur la prise en considération simultanée de trois critères agrégés : l'effet des apports de matières organiques, l'effet des pesticides et l'effet de la diversité des familles cultivées (figure 7). Ces indicateurs sont combinés sous forme d'une arborescence et reliés entre eux par le biais de règles de décision qualitatives pour obtenir le diagnostic global relatif à la conservation des micro-organismes du sol. Il s'agit d'une reprise de l'indicateur utilisé dans MASC 2.0.

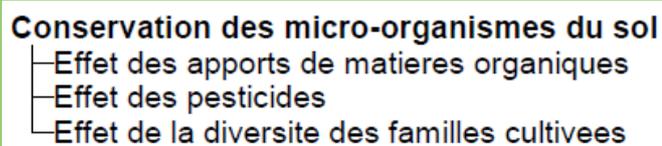


Figure 7.
Arbre satellite Conservation des micro-organismes du sol
(MASC V2.0)

L'évaluation de la conservation des micro-organismes du sol proposée vise à estimer l'impact des pratiques agricoles à la fois sur l'abondance et la diversité des organismes. Le critère agrégé **CMOS** sera qualifié en quatre classes : très faible, faible à moyenne, moyenne à élevée et très élevée.

7.1. Effet des apports de matières organiques

Il sera estimé par l'indicateur **IMO** de la méthode INDIGO (Cf. 5).

IMO	Classe qualitative
$IMO < 4$	très faible
$4 \leq IMO < 7$	faible à moyenne
$7 \leq IMO < 9$	moyenne à élevée
$9 \leq IMO$	très élevée

Tableau 15.
Valeur seuils de IMO proposées pour qualifier l'effet de l'état organique du sol sur les micro-organismes du sol

7.2. Effet des pesticides

Il est estimé par l'indice de fréquence des traitements total (**IFTT**).

Dans le cas des systèmes de cultures biologiques les **IFTT** ont généralement une valeur égale à 0 ou proche de 0. Il s'agit donc de la valeur par défaut. Il est possible de saisir directement la valeur après calcul conformément aux prescriptions en vigueur :

- > <http://agriculture.gouv.fr/les-produits-phytosanitaires>
- > http://driaf.ile-de-france.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_presentation_IFT_cle4535d3.pdf

IFT Total (IFTT)	Classe
IFTT = 0	nul
0 < IFTT ≤ 3	faible
3 < IFTT ≤ 5	moyen
5 < IFTT	élevé

Tableau 16.
Valeurs-seuils pour discrétiser IFTT

7.3. Effet de la diversité des familles cultivées (DFC)

L'effet de la diversité des couverts sera appréhendé par la diversité des familles cultivées dans la rotation en utilisant l'indice de diversité de Simpson. Plus la diversité des familles cultivées dans une rotation est élevée, plus grandes sont les chances que ces plantes soient éloignées génétiquement, et qu'elles aient ainsi moins de parasites en commun.

$$DFC = 1/[\sum_i (p_i^2)]$$

Avec :

$$P_i = n_i/N$$

n_i = nombre de cultures appartenant à la famille *i*

N = nombre de cultures dans la rotation

Lorsque deux cultures sont cultivées en association, l'indice de diversité sera calculé en attribuant un demi-point à chaque culture associée pour le numérateur (**n_i**) et ces cultures associées seront comptabilisées comme une seule et même culture au niveau du dénominateur (**N**).

Les cultures intermédiaires sont généralement implantées sur une durée plus courte que les autres cultures de la rotation et ont, par conséquent, un impact plus faible sur la pression de maladies et de ravageurs. Cette différence sera ici prise en compte dans le calcul de cet indicateur en comptabilisant un demi-point pour chaque culture intermédiaire de la rotation au niveau du numérateur (**N_i**) et du dénominateur (**N**) de la formule de Simpson. Ceci n'est appliqué que pour les cultures simples.

Pour les couverts de culture intermédiaire, on peut avoir des cultures associées en culture intermédiaire. Dans ce cas, on applique la règle des cultures en association.

Exemples

$$\text{Maïs/Blé/Colza/Triticale} : 1/[(3/4)^2 + (1/4)^2] = 1.60$$

$$\text{Colza/association Blé-Pois/Orge} : 1/[(1/3)^2 + (0.5/3)^2 + (1.5/3)^2] = 2.57$$

$$\text{Pois/Blé/culture intermédiaire de Seigle/Tournesol/Orge} :$$

$$1/[(1/4.5)^2 + (2.5/4.5)^2 + (1/4.5)^2] = 2.45$$

■ Table des figures

Figure 1. Sous-modèle DEXi de la maîtrise de l'état structural du sol (MASC AB)	p10
Figure 2. Triangle des textures adapté à l'évaluation de la stabilité structurale	p10
Figure 3. Sous-modèle DEXi « Maîtrise des adventices » (MASC AB)	p16
Figure 4. Estimation de l'effet des cultures sur le contrôle des adventices	p20
Figure 5. Critère Pression Eau (MASC V2.0)	p30
Figure 6. Arbre satellite Dépendance vis-à-vis de la ressource en eau (MASC V2.0).....	p30
Figure 7. Arbre satellite Conservation des micro-organismes du sol (MASC V2.0)	p34

■ Table des tableaux

Tableau 1. Modes de calcul des charges spécifiques par type d'opération	p6
Tableau 2. Valeurs seuils proposées du temps de travail (h/ha/an) et classes de contribution à l'emploi	p8
Tableau 3. Exemple d'appréciation de la résistance à la déstructuration des principaux sols de la région Midi-Pyrénées.....	p10
Tableau 4. Valeurs seuils proposées pour le nombre de passages en période de sensibilité critique du sol au tassement.	p12
Tableau 5. Catégorie d'équipement des roues de tracteur et effet de limitation des risques de tassement	p12

Tableau 6. Qualification de la présence ou absence d'opérations de travail du sol susceptibles de le restructurer en profondeur	p12
Tableau 7. Notation de l'effet de diverses cultures sur la structure du sol de -2 (très dégradant) à +2 (très améliorant)	p13
Tableau 8. Valeurs seuils de la note moyenne des effets des cultures sur la structure du sol et qualification de l'effet global à l'échelle de la rotation p14	
Tableau 9. Valeurs seuils de l'indicateur IMO et qualification de l'effet du système de culture sur l'état organique du sol	p25
Tableau 10. Tableau des valeurs de TES en fonction des valeurs du taux d'argile.....	p25
Tableau 11. Définition des valeurs de DRS, devenir des résidus de récoltes et de FAO, fréquence des apports d'amendements organiques	p26
Tableau 12. Valeurs de fr en fonction du devenir des résidus de récoltes (DRS) et de la fréquence des apports d'amendements organiques (FAO).....	p27
Tableau 13. Exemple d'établissement des valeurs-seuils régionales pour délimiter trois classes de consommation d'eau en période critique.....	p32
Tableau 14. Tableau des valeurs des DMEAU par culture.....	p34
Tableau 15. Valeur seuils de IMO proposées pour qualifier l'effet de l'état organique du sol sur les micro-organismes du sol	p36
Tableau 16. Valeurs-seuils pour discrétiser IFTT.....	p37

■ Table des matières

Introduction	P4
1. Rentabilité économique	P5
2. Contribution à l'emploi (EMP)	P7
3. Approche de la Maîtrise de l'état structural du sol (MESS)	p9
3.1. Résistance du sol à la déstructuration	p10
3.2. Effet des interventions culturales.....	p11
3.2.1. Les facteurs pris en compte	p11
3.2.1.1. Le nombre de passages en période critique	p11
3.2.1.2. Effet des équipements limitant le tassement	p12
3.2.1.3. Effet restructurant du travail du sol	p12
3.2.2. Combinaison des facteurs pour déterminer l'effet des interventions culturales	p13
3.3 Effet des cultures sur l'état structural du sol.....	p13
3.4. Diagnostic général de maîtrise de l'état structural du sol	p14
4. Approche de la maîtrise des adventices (MDA)	p15
4.1 Niveau de maîtrise initiale des adventices	p16
4.1.1. Niveau de contrôle de l'enherbement par les vivaces.....	p16
4.1.2. Niveau de contrôle de l'enherbement par les annuelles à problèmes.....	p17
4.1.3. Combinaison des critères relatifs à Niveau de maîtrise initiale des adventices	p17
4.2 Pression sur les adventices	p17
4.2.1 Principe d'alternance.....	p17
4.2.2. Caractère nettoyant des cultures	p19
4.2.2.1. Pouvoir concurrentiel des cultures	p19
4.2.2.2. Contrôle physique en culture	p20
4.2.2.3. Combinaison des critères pour l'évaluation du Caractère nettoyant des cultures	p21
4.2.3. Caractère nettoyant des intercultures	p21
4.2.3.1. Contrôle physique hors culture (en interculture).....	p21
4.2.3.2. Effet nettoyant des cultures intermédiaires	p21
4.2.3.3. Combinaison des critères pour l'évaluation du caractère nettoyant des intercultures	p22

4.2.4. Combinaison des critères pour évaluer la pression du système de culture sur les adventices.....	p22
4.3. Diagnostic général de la maîtrise des adventices dans les systèmes de culture.....	p22
4.4. Références bibliographiques.....	p22
5. Indicateur Matière organique (IMO).....	p23
5.1. Calcul des valeurs d'apports de MOS recommandées (Ar)	p25
5.2. Calcul des apports moyens de MOS (Ax) associés à un système de culture.....	p27
5.2.1. Apports de MO stable (kg/ha) associés à une culture i : MOS_cult i	p27
5.2.2. Apports de MO stable (kg/ha) associés à un amendement j : MOS_amdt j	p28
5.2.3. Apport annuel moyen (Ax) de MO stable à l'échelle de la succession culturale	p29
5.3. Références bibliographiques	p29
6. Pression sur l'eau (PSEAU).....	p31
6.1. Consommation d'eau en période critique (IRRC)	p32
6.2. Dépendance ressource en eau (DPEAU)	p32
6.2.1. Demande en eau des cultures (DMEAU)	p33
6.2.2. Autonomie de la ressource (AUTEA).....	p33
7. Conservation des micro-organismes du sol (CMOS)	p35
7.1. Effet des apports de matières organiques.....	p36
7.2. Effet des pesticides.....	p36
7.3. Effet de la diversité des familles cultivées (DFC).....	p37
Table des figures.....	p38
Table des tableaux.....	p38
Table des matières.....	p40



Dans le cadre du Programme de recherche Pour et Sur le Développement Régional (PSDR3) en Midi-Pyrénées, l'outil OFSAT bénéficie du soutien financier de



www.inra.fr/psdr-midi-pyrenees