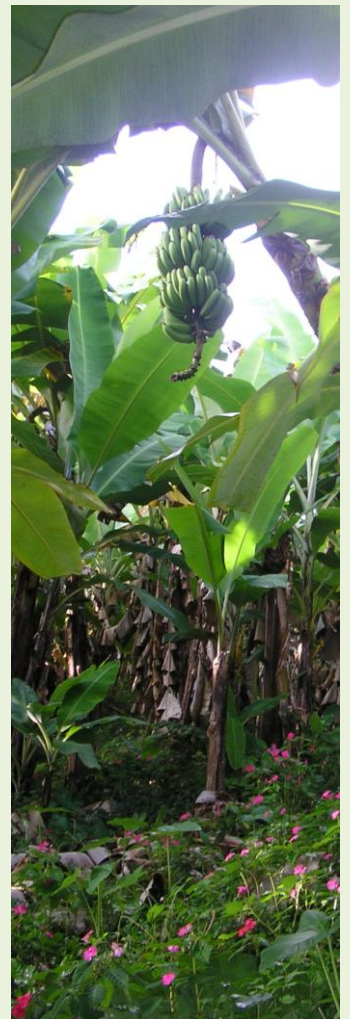
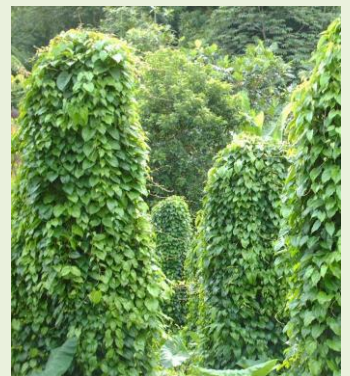


« SIMSERV » un système expert d'aide à la sélection de plantes de service pour différents contextes agro-écologiques et socio-économiques

MELFORT Cindy, 2ème année, ENITA de Bordeaux



2010



Stage réalisé du 7 juin au 3 septembre 2010

Encadrants INRA : Harry OZIER-LAFONTAINE, Jean-Marc BLAZY

Tuteurs ENITAB : Philippe CHERRY, Alexandre LEE

INRA, UR1321, ASTRO Agrosystèmes tropicaux, F-97170, Petit-Bourg (Guadeloupe), France

Résumé

Summary

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Harry Ozier-Lafontaine pour son encadrement durant le stage. Il a su être de très bons conseils et s'est toujours rendu disponible. Je le remercie également pour sa bonne humeur et pour ses petits morceaux joués à la guitare.

Ensuite, je remercie Jean-Marc Blazy pour son accueil chaleureux au sein de l'unité ASTRO. Il su me mettre à l'aise dès mon arrivée en me présentant un à un tout le personnel de l'unité de recherche. Ces remarques se sont toujours avérées très utiles dans l'avancé de mon stage et je l'en remercie.

Je remercie également Mirza Publicol pour ses longues heures passées à programmer SIMSERV sans jamais s'arracher les cheveux ainsi que pour sa disponibilité.

Je tiens également à dire un grand merci à tous les experts que j'ai rencontré, qui m'ont accordé de leur temps et ont partagé leurs connaissances. Merci à Sébastien Guyader, Jorge Sierra, Claudie Pavis, Gladys Loranger, François Bussière, Yves-Marie Cabidoche et Régis Tournebize.

Je remercie aussi tout le personnel de l'ASTRO qui m'a si bien intégré au sein de ses locaux et de son équipe.

Enfin, je dis un grand merci à la communauté des Bambous sans qui ce séjour en Guadeloupe n'aurait vraiment pas été le même. Merci au couple de toulousains pour ses artistes avec un si grand talent et pour leur maîtrise totale du mal de mer. Merci à Mauricio pour son merveilleux accent et ses *caïpirinhas*. Merci à Aurélien pour toutes ces heures passées à nous conduire aux quatre coins de la Guadeloupe et pour son fantastique élevage de blattes. Merci à Clémentine pour ses superbes préparations culinaires et son dévouement pour Josée. Merci à Flore pour nous avoir permis de redécouvrir des mots oubliés et pour ses expressions particulières. Merci à Simon pour son énorme appétit nous permettant d'éviter d'avoir des restes. Merci à Jean-Luc pour ses films avec cet humour tout à fait particulier et pour son rire très discret.

A tous merci.

Sommaire

Liste des figures, tableaux et annexes.....	5
Glossaire.....	6
I. Introduction.....	1
II. Synthèse bibliographique.....	2
1. Le concept de plante de service.....	2
2. Les méthodes de sélection de PDS.....	3
3. Le système expert : outil d'aide à la décision.....	5
a) Description et architecture.....	5
b) Fonctionnement.....	6
c) Méthodes de calculs.....	7
4. Objectif et hypothèses de travail.....	9
III. Démarche méthodologique.....	10
1. Les composantes du système et son dimensionnement.....	10
2. Le processus de décision pour la création d'un outil d'aide à la décision.....	11
a) Poser la Problématique.....	11
b) Modélisation / construction de l'arbre.....	11
c) Enquêtes auprès d'experts / Validation des indicateurs.....	12
d) Choix des outils.....	12
3. Choix pour l'implémentation de la base de données.....	13
IV. Résultats.....	15
1. Arbre de décision, architecture de SIMSERV.....	15
2. Indicateurs, résultats des enquêtes auprès d'experts.....	15
3. Construction de l'outil et implémentation de la base de données.....	16
4. Test de scénarios.....	24
V. Discussion.....	26
VI. Conclusions et perspectives.....	27
VII. Bibliographie.....	1
VIII. Annexes.....	4

Liste des figures, tableaux et annexes

Figure 1 : Le concept de plante de service (H. Ozier-Lafontaine, 2010)	2
Figure 2 : Exemple de sélection d'une plante de service pour la couverture du sol en vergers d'agrumes (Malézieux, 2009)	3
Figure 3 : Architecture d'un système expert (J. Valdes, 2004)	5
Figure 4 : Fonctionnement d'un système expert	6
Figure 5 : Positionnement de SIMSERV dans une démarche de mise au point de système de culture innovants	9
Figure 6 : La parcelle systémique	10
Figure 7 : Outils utilisés pour la construction du système expert	13
Figure 8 : Arbre de décision de "base"	15
Figure 9 : Modèle conceptuel de données de la base de données sous Access	17
Figure 10 : Page d'accueil de SIMSERV	19
Figure 11 : Exemple de formulaire, saisie des cultures de rente	20
Figure 12 : Formulaire de sélection de scénario	21
Figure 13 : Classement des plantes de service	21
Figure 14 : Export de l'arbre vers le logiciel DEXi	22
Figure 15 : Méthode de calcul pour l'agrégation des critères en programmation	23
Figure 16 : Dialogue entre SIMSERV et DEXi pour le calcul des indicateurs	23
Tableau 1 : Liste non exhaustive de services	2
Tableau 2 : Avantages et inconvénients de chaque méthode	8
Tableau 3 : Principales caractéristiques des cultures de rente retenues	14
Tableau 4 : Détail des différentes tables d'Access	17
Tableau 5 : Détail des tables "Admin_groupe" et "Admin_user"	18
Tableau 6 : Scénarios de sélection	24
Tableau 7 : Classement des plantes de service par scénario	24

Glossaire

Access : Système de Gestion de Base de Données Relationnelle conçu par Microsoft et inclus dans la suite Office Pro. Access entrepose toutes les informations dans un fichier unique.

Aide à la décision : Activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision. (Roy 1985) Elle s'élabore autour d'un axe reliant la structuration de l'information et le traitement de celle-ci par des techniques spécifiques de calcul.

HTML (HyperText Markup Language ou langage hypertexte à balises) : Langage permettant de créer des pages Web contenant des textes, des liens hypertextes (liens vers d'autres pages du web), mais également des composants multimédias (images, vidéos, sons,...). Il utilise une structure formée de balise (ex : balise de début : <html> ; balise de fin : </html>) et permet la mise en forme du texte. C'est un ensemble de règles qui indique à un navigateur comment afficher une page web. Il nécessite un navigateur web pour la visualisation.

Méthode multicritère : Structure hiérarchique qui représente la décomposition d'un problème en sous-problèmes plus petits, moins complexes et donc plus faciles à résoudre que le problème de décision en entier.

ODBC ou Connexion ODBC (Open DataBase Connectivity): Format défini par Microsoft permettant la communication entre des clients bases de données fonctionnant sous Windows (exemple : Access) et les Systèmes de Gestion de Base de Données du marché. La technologie ODBC permet d'interfacer de façon standard une application à n'importe quel serveur de bases de données, pour peu que celui-ci possède un driver ODBC.

Parcelle systémique : Représentation de la parcelle sous forme de système composé de deux sous systèmes, un système biophysique en interaction avec un système technique, les deux s'influencent mutuellement. Le fonctionnement de ce système est aussi influencé par son environnement biophysique (climat) et socio-économique.

Plante de service : Plante cultivée en association ou en rotation culturale afin d'apporter différents services agro-environnementaux à une ou plusieurs cultures de rente, tels que la régulation des bioagresseurs, l'amélioration ou la restauration de la fertilité des sols, le contrôle des adventices ou la réduction des processus érosifs

PHP (Hypertext Preprocessor) : Langage de programmation web côté serveur (c'est le serveur qui va interpréter le code PHP et générer du code qui pourra être interprété par le navigateur). Contrairement à l'HTML, il permet de créer des pages web dynamiques. Il est interactif et permet d'automatiser des fonctions répétitives (programmation) sur chaque page ou sur l'ensemble d'un site. Il permet aussi de gérer des bases de données.

Système expert : Logiciel utilisant une base de connaissances afin de fournir des solutions, équivalentes à celles que fournirait un expert, en réponse à des questions dans un domaine spécifique.

I. Introduction

A partir des années 60, notamment avec la *Révolution Verte*, les systèmes agricoles sont orientés sur l'optimisation de la productivité des monocultures via l'utilisation de variétés à haut rendement, d'engrais, de produits phytosanitaires, de l'irrigation et de la mécanisation. (Malézieux et al, 2007) Cependant, dès les années 90, les impacts environnementaux négatifs de tels systèmes font l'objet d'une prise de conscience sociétale accrue. En effet, ces modes de conduite intensive contribuent à l'érosion des sols, la dégradation des milieux via les intrants ou encore la perte de biodiversité.

Suite à cette prise de conscience et en réponse à la *Révolution verte*, de nouveaux concepts tels que la *Révolution doublement verte* (Griffon, 2007) s'affichent, en se fondant sur l'*intensification écologique* des milieux priorisant le maintien de la diversité biologique et la résilience des écosystèmes.

L'utilisation de plantes dites « de service » à valeur agronomique autre que strictement marchande telles que les plantes de couverture, les légumineuses (« engrais vert »), les plantes aux propriétés biocides ou biorégulatrices (permettant le contrôle des bioagresseurs des cultures), s'inscrivent dans ce cadre. (Damour Gaëlle, 2004)

Cependant, la diversité des exploitations et plus particulièrement des parcelles tant sur le plan pédoclimatique que socio-économique, rend la sélection de telles plantes difficile et coûteuse. En effet, chaque plante possédant des caractéristiques physiologiques et de «services» propres, elle ne peut s'implanter dans n'importe quel contexte. De plus, le savoir dans ce domaine est fragmentaire, ce qui ajoute une difficulté à la sélection via la mobilisation du savoir des experts.

Afin de réduire la durée de sélection de ces plantes de services et de contribuer à la capitalisation de ce savoir expert, l'Unité Agrosystèmes Tropicaux de l'INRA des Antilles Guyane (UR ASTRO) travaille sur la mise en place d'un système expert pour la sélection de ces plantes. Dans ce cadre, une première étude sur le sujet a été menée et a conduit à l'ébauche d'un premier prototype de SIMSERV. Ce prototype, conçu et développé par Ozier-Lafontaine et al. (2009), a permis d'appréhender l'utilité d'un tel outil et constitue la base de mon sujet de stage.

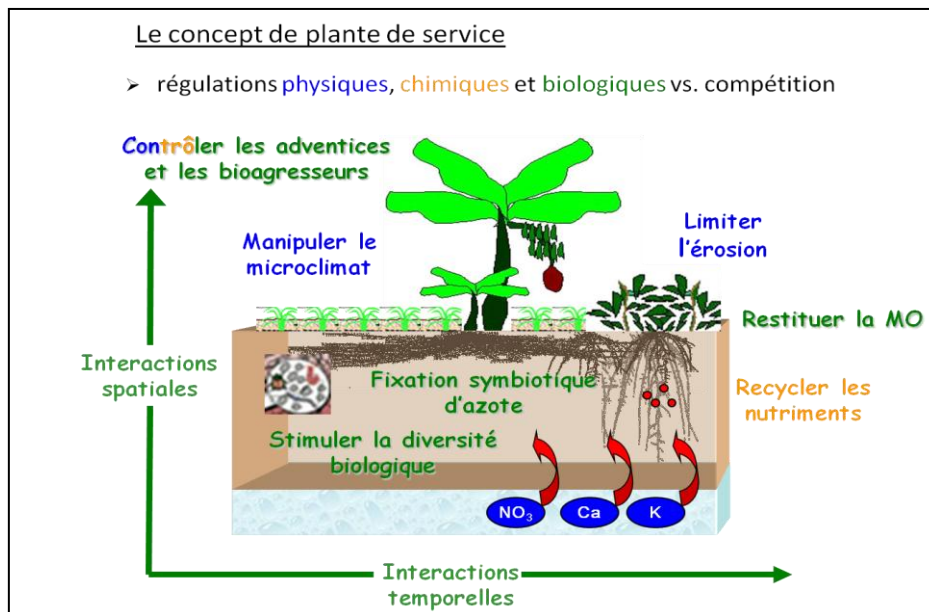
L'objectif de ce dernier est de poser les bases conceptuelles de la mise au point d'un système expert permettant la sélection de plante de services adaptées à différents champs de contraintes et d'objectifs. La finalité de cet outil d'aide à la décision est d'aider les agriculteurs et les conseillers techniques à la prise de décision en matière de choix de plante de service. Il s'inscrit dans une des composantes de l'axe 1 du programme scientifique de l'équipe « Agronomie, Economie et Systèmes » qui porte sur l'analyse systémique du champ cultivé pour la conception et l'évaluation de systèmes de cultures plus durables. Les attendus du stage sont (i) réaliser une courte synthèse bibliographique sur le sujet, (ii) proposer un cahier des charges et une architecture du système et enfin (iii) développer un prototype de l'outil avec une étude de cas concrets.

II. Synthèse bibliographique

1. Le concept de plante de service

Le concept de **plante de service** correspond à l'introduction dans les systèmes de culture de plantes cultivées en association (moyennant une compétition maîtrisée) ou en rotation culturale, afin d'apporter différents **services agro-environnementaux** à une ou plusieurs cultures de rente, tels que la régulation des bioagresseurs (notamment la nématoregulation), l'amélioration ou la restauration de la fertilité des sols, le contrôle des adventices ou la réduction des processus érosifs (**figure 1**). Ces effets bénéfiques peuvent apparaître sur le court, moyen ou long terme.

Figure 1 : Le concept de plante de service (H. Ozier-Lafontaine, 2010)



Les services rendus par les plantes de service sont multiples et peuvent être classés selon leur nature (physique, chimique ou biologique), certains peuvent cependant recouper plusieurs domaines (**tableau 1**) (**Annexe 1**).

Tableau 1 : Liste non exhaustive de services

Nature des services		
Physique	Chimique	Biologique
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Limitation de l'érosion et stabilisation des sols ➤ Modifications des propriétés physiques du sol ➤ Tuteurs ➤ Modification des propriétés microclimatiques ➤ Recyclage des éléments minéraux 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Allélopathie et stimulation de l'activité des microorganismes ➤ Cycles biogéochimiques ➤ Engrais vert ➤ Stockage de carbone 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fixation symbiotique d'azote ➤ Effets sur les agents pathogènes et adventices ➤ Modifications des équilibres biocénotiques
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Amélioration du rendement et de la qualité de la culture associée 		

Les plantes de services, de part la nature des services rendus, leurs caractéristiques biologiques, sont très différentes les unes des autres et ne conviennent pas forcément à tous les systèmes agricoles que se soit au niveau agropédoclimatique ou socio-économique (**annexe 2**).

En effet, comme précisé précédemment, elles peuvent être implantées en rotation ou en association. La mise en œuvre d'associations de culture pose de manière systématique le problème de la compétition pour les ressources du milieu. Ainsi, les caractéristiques de la culture de rente doivent être prises en compte afin de trouver la meilleure adéquation possible entre la plante de service et la culture associée. Le service rendu ne doit pas se faire au détriment de l'espèce principale.

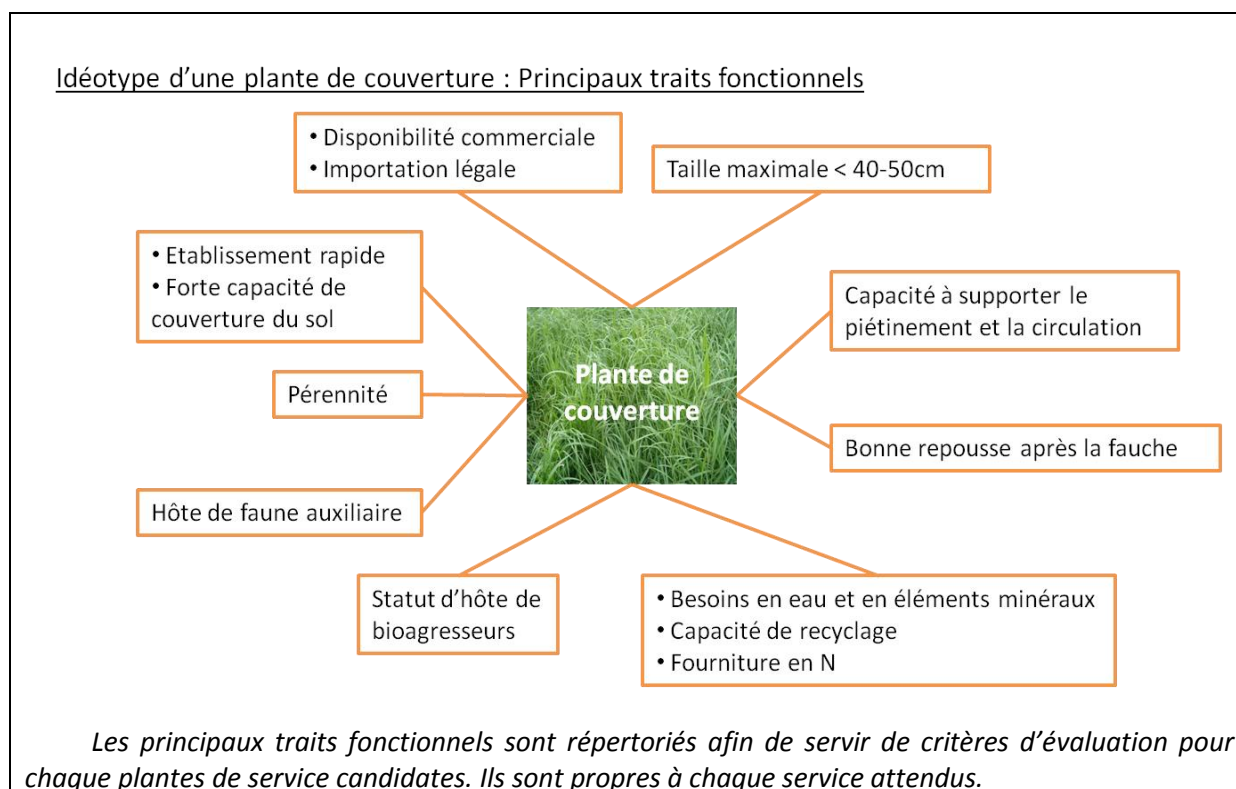
Par ailleurs, certaines plantes de service sont plus facile à mettre en œuvre que d'autres de part la disponibilité des semences ou du besoin en main d'œuvre et en équipement. Le contexte socio-économique de l'exploitation est donc un facteur déterminant dans le choix d'une plante de service.

Une plante de service ne peut donc être sélectionnée au hasard. Elle nécessite de prendre en compte plusieurs paramètres que sont le contexte agropédoclimatique de la parcelle et le contexte socio-économique de l'exploitation.

2. Les méthodes de sélection de PDS

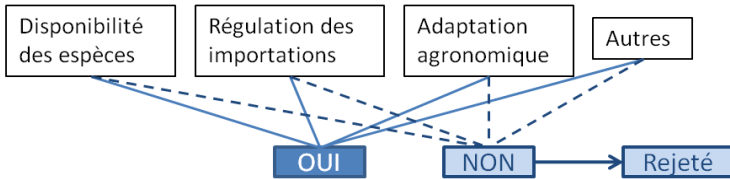
Plusieurs méthodes de sélection de plantes de service existent. Elles peuvent se faire de manière empirique via les données répertoriées dans la bibliographie uniquement, mais elles peuvent aussi reposer sur l'établissement de cribles successifs permettant d'éliminer au fur et à mesure les plantes de service les moins adaptées au milieu. Cette dernière méthode allie, à la fois, la recherche bibliographique, l'expérimentation et le savoir expert (**figure 2**).

Figure 2 : Exemple de sélection d'une plante de service pour la couverture du sol en vergers d'agrumes (Malézieux, 2009)

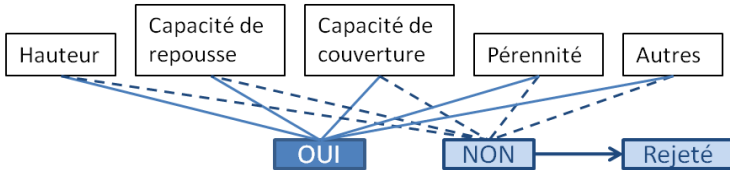


Grille d'évaluation multicritères : critères de classement hiérarchique

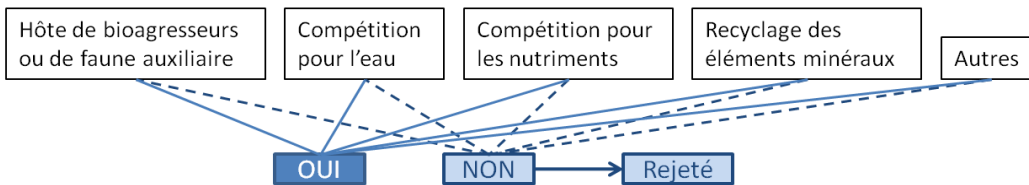
Bibliographie



Expérimentation



Informations d'experts



Conception du système



Les différents critères, ainsi que le savoir expert et les expérimentations, permettent de diminuer, petit-à-petit, le pool de plantes de service potentielles.

Généralement, la durée de sélection pour une plante de service varie entre 3 et 6 ans, ce qui est assez long (Ozier-Lafontaine H., 2010). Ceci peut s'expliquer par la difficulté à capitaliser et à mobiliser le savoir qu'il soit bibliographique ou expert et par la diversité des plantes de service et des systèmes de cultures.

Les différences rencontrées au sein des contextes agropédoclimatiques et socio-économiques, et les exigences de chaque plante de service et de chaque culture de rente expliquent la difficulté de sélectionner une plante de service adaptée, tant sur le plan du temps que du coût, d'autant plus que le savoir dans ce domaine reste difficile à mobiliser. Elles justifient ainsi l'utilité d'un système expert permettant de réduire la durée et le coût de sélection mais aussi de capitaliser le savoir expert dans ce domaine et de le partager.

3. Le système expert : outil d'aide à la décision

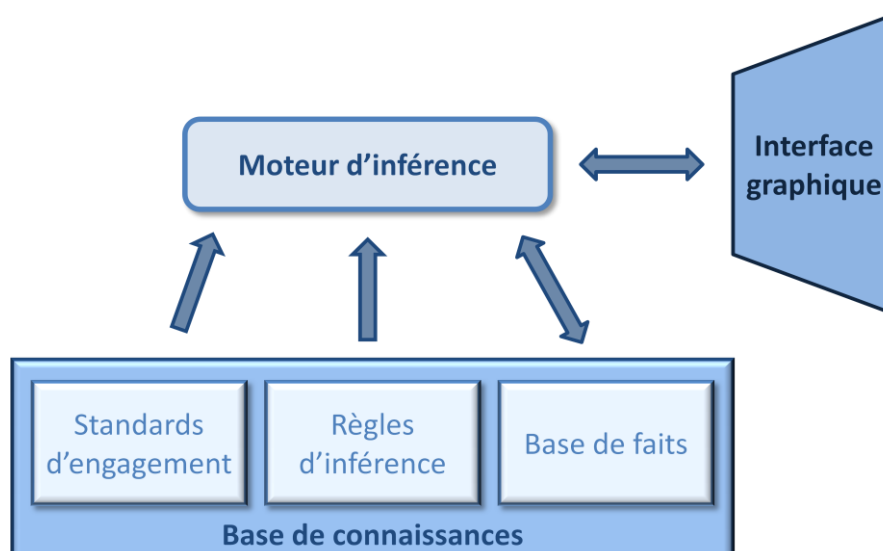
a) Description et architecture

Un **système expert** est un système d'**aide à la décision**. Il est la transcription logicielle de la réflexion d'un expert dans un domaine donné et est capable de déduction logique. Toutefois, il reste un outil d'aide à la décision et est loin de pouvoir remplacer la capacité d'analyse d'un expert, d'ailleurs il n'est concevable que pour les domaines dans lesquels il existe des experts « humains ».

Un système expert est constitué de 3 éléments fondamentaux :

- ✓ **La base de connaissances** constituée
 - des **standards d'engagement** (connaissances de l'expert) qui correspondent aux informations de base et des **informations de configurations du système** (paramètres,...) ;
 - des **règles d'inférence** (savoir faire) représentant l'ensemble des règles logiques de déduction utilisées par le moteur d'inférence ;
 - d'une **base de faits** (expérience), c'est-à-dire une historisation et une statistique des faits, des décisions ;
- ✓ **Le moteur d'inférence** est un mécanisme permettant d'inférer des connaissances nouvelles à partir de la base de connaissances du système. Il est basé sur des règles d'inférence qui régissent son fonctionnement. Il a pour fonction de répondre à une requête de la part d'un utilisateur ou d'un serveur afin de déclencher une réflexion définie par ses règles d'inférence qui utiliseront la base de connaissance. Il peut fonctionner en **chaînage avant** (déduction d'une solution à partir de faits) ou **chaînage arrière** (recherche des règles et faits ayant conduit à une solution).
- ✓ **L'interface graphique** permettant l'interaction avec l'utilisateur. Elle doit être intuitive et l'utilisateur doit pouvoir s'y retrouver facilement (J. Valdes, 2004)

Figure 3 : Architecture d'un système expert (J. Valdes, 2004)



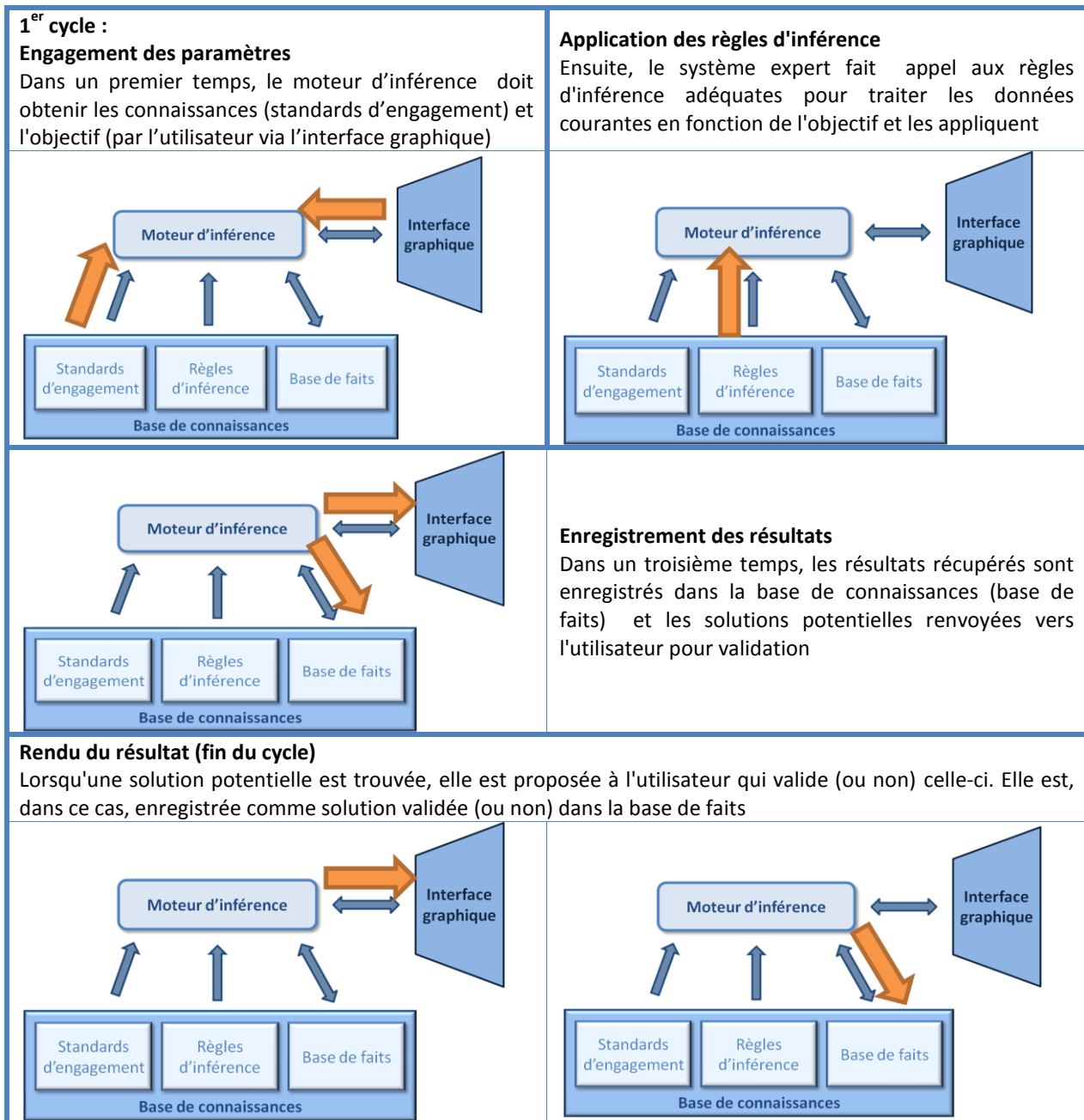
b) Fonctionnement

Un système expert fonctionne selon un cycle en 4 temps (**figure 4**):

- ✓ L'engagement des paramètres
- ✓ L'application des règles d'inférence
- ✓ L'enregistrement des résultats
- ✓ Le rendu du résultat

L'étape d'engagement des paramètres diffère selon qu'on se trouve au premier cycle (« engagement des paramètres ») ou non (« engagement des paramètres (bis) »). (**Figure 4**)

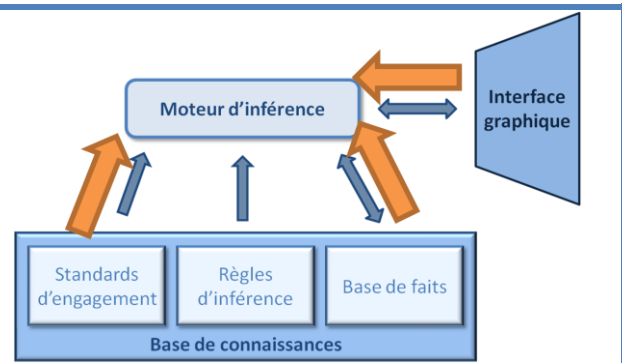
Figure 4 : Fonctionnement d'un système expert



2^{ème} cycle :

Engagement des paramètres (bis)

Lors du prochain engagement de paramètres, les faits enregistrés (base de faits) sont rappelés



c) Méthodes de calculs

Plusieurs techniques de calcul peuvent être utilisées dans un système expert. Elles constituent la base du moteur d'inférence et des règles de décision associées. Suivant le type de système expert, les techniques utilisées sont différentes. Dans cette partie, certaines méthodes sont présentées : les algorithmes génétiques, les réseaux de neurones, la logique floue et la méthode d'agrégation multicritères (DEXi).

i. Algorithme génétique (AG) et réseau de neurones (RN)

Les **algorithmes génétiques**, initiés dans les années 1970 par John Holland, sont des **algorithmes évolutionnaires d'optimisation** s'appuyant sur des techniques dérivées de la **génétique** et des **mécanismes d'évolution** de la nature : croisement, mutation, sélection (Néo-Darwinisme).

Les algorithmes évolutionnaires constituent une approche originale. En effet, il ne s'agit pas de trouver une solution analytique exacte ou une bonne approximation numérique, mais de trouver des solutions satisfaisant au mieux à différents critères, souvent contradictoires.

Un tel algorithme ne nécessite aucune connaissance du problème et peut être représenté par une boîte noire comportant des entrées et des sorties. L'algorithme ne fait que manipuler les entrées, lire les sorties, manipuler à nouveau les entrées de façon à améliorer les sorties, et ainsi de suite (Whitley, 1993). (**Annexe 3**) (A. Souquet et al, 2007)

Les **réseaux de neurones** sont à l'origine une tentative de **modélisation** mathématique du **cerveau humain**. Les premiers travaux datent de 1943 et sont l'œuvre de Mac Culloch et Pitts.

L'idée principale des réseaux de neurones "modernes" est la suivante : le réseau est basé sur une unité simple, le **neurone « formel »**, capable de réaliser quelques calculs élémentaires. Cette unité élémentaire est ensuite reliée à un nombre important d'autres unités créant ainsi le **réseau de neurones** dont la puissance de calcul est nettement supérieure. Les neurones manipulent exclusivement des données numériques et non pas symboliques.

En bref, le neurone formel réalise simplement une somme pondérée de ces entrées, ajoute un seuil à cette somme et fait passer le résultat par une fonction de transfert pour obtenir sa sortie. (**Annexe 4**) (F.Denis et al, 2008)

ii. Logique floue(LF)

La **logique floue**, née en 1965 du **concept flou** avec le Pr. Zedeh Lofti, est basé sur le **raisonnement humain** et fait appel à des **données imprécises** ou incomplètes. Elle apparaît comme une logique graduelle qui se veut proche de notre **perception nuancée du monde**. En effet, la notion d'appartenance graduée (via la fonction d'appartenance, inhérente à la logique floue, qui prend des valeurs entre 0 et 1) autorise certains éléments à appartenir plus ou moins à un ensemble donné, cet ensemble est qualifié de « flou ».

La logique floue est basée sur trois étapes fondamentales : la **fuzzification** qui transforme les entrées en grandeurs floues, l'**inférence** avec la base de règles (de type si ... alors) qui prend les décisions et la **défuzzification** qui transforme les grandeurs floues en grandeurs nettes.

C'est avec cette méthode que le premier prototype de SIMSERV a été développé. (**Annexe 5**) (P. Gabriel, 2000)

iii. Méthodes d'agrégation multicritères (MC DEXi)

Un **modèle multicritères** (ou multi-attributs) est une **structure hiérarchique** qui représente la **décomposition d'un problème** en sous-problèmes plus petits, moins complexes et donc plus faciles à résoudre que le problème « de décision » en entier. Il existe différents modèles multicritères, mais seule la méthode DEXi est présentée ici.

DEXi est un logiciel d'aide à la décision basé sur l'approche multicritère. Le modèle développé se compose de **critères** (ou d'**attributs**) qui sont les variables qualitatives composant les différents sous-problèmes, les **échelles de valeurs**, ordonnées ou non, qui correspondent à la plage de valeurs possibles pouvant être prises par les attributs, l'**arbre des attributs** qui est la structure hiérarchique présentant la décomposition du problème et les **fonctions d'utilité** (ou règles de décision) qui sont les règles définissant les agrégations des attributs depuis le bas jusqu'au sommet de l'arbre des attributs. (**Annexe 6**) (M. Bohanec, juin 2008)

iv. Comparaison des méthodes

Toutes les méthodes présentées précédemment présentent des avantages mais aussi des inconvénients. (**Tableau 2**)

Tableau 2 : Avantages et inconvénients de chaque méthode

	Avantages	Inconvénients
AG	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Efficace pour une gamme de problèmes très large ✓ Faculté d'adaptation, réactivité, prise en compte de l'environnement ✓ Pour des espaces de recherche important (pas de parcours exhaustif) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Problème de la boîte noire ✓ Choix de la fonction d'évaluation délicat ✓ Paramètres délicats à régler (probabilité des opérateurs) ✓ Solution trouvée n'est pas forcément la meilleure (approximation de la solution optimale) ✓ Calcul d'un grand nombre de « fitness » pour garantir la robustesse de l'AG
RN	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Représentation de n'importe quelle dépendance fonctionnelle ✓ Grande variabilité de la variable de sortie (oui/non, valeur continue, ...) ✓ Robuste si peu de données ✓ Pas de recodage des données 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Problème de la boîte noire ✓ Beaucoup d'exemples à entrer, mise en œuvre par apprentissage assez longue ✓ Temps de modélisation long (parfois plusieurs heures)
LF	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pas besoins de modèle ✓ Implémentation de connaissances linguistique ✓ Maîtrise de système à comportement complexe (non linéaire) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Manque de directives précises pour la conception ✓ Approche « artisanale » et non systémique ✓ Possibilité d'apparition de règles d'inférence contradictoire ✓ Impossibilité de démonstration de la stabilité du modèle
MC DEXi	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Facile à mettre en œuvre ✓ Règles de décision intuitives de type si ... alors ✓ Implémentation de connaissances linguistiques 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agrégation de trois attributs maximum ✓ Fastidieux à construire, besoin de temps pour construire le modèle ✓ Nécessité d'expertise conséquente pour développer l'application

Par rapport à la problématique du stage, les algorithmes génétiques et les réseaux de neurones apparaissent comme étant peu appropriés. En effet, le principe de la boîte noire, propre à ces deux méthodes, ne permet d'ordonner correctement le savoir expert en grands domaines de sélection. De plus, les réseaux de neurones sont basés sur l'apprentissage et nécessitent un nombre d'exemples conséquents qui sont encore trop peu nombreux dans ce domaine. Le choix de la méthode s'effectue donc entre la logique floue et la méthode d'agrégation multicritère de DEXi. Or, la logique floue semble plus difficile à mettre en œuvre de part la détermination des fonctions d'appartenance pour chaque paramètre. Ainsi, on choisit de privilégier la méthode d'agrégation multicritère de DEXi, plus intuitive et possédant déjà un modèle de développement (logiciel DEXi).

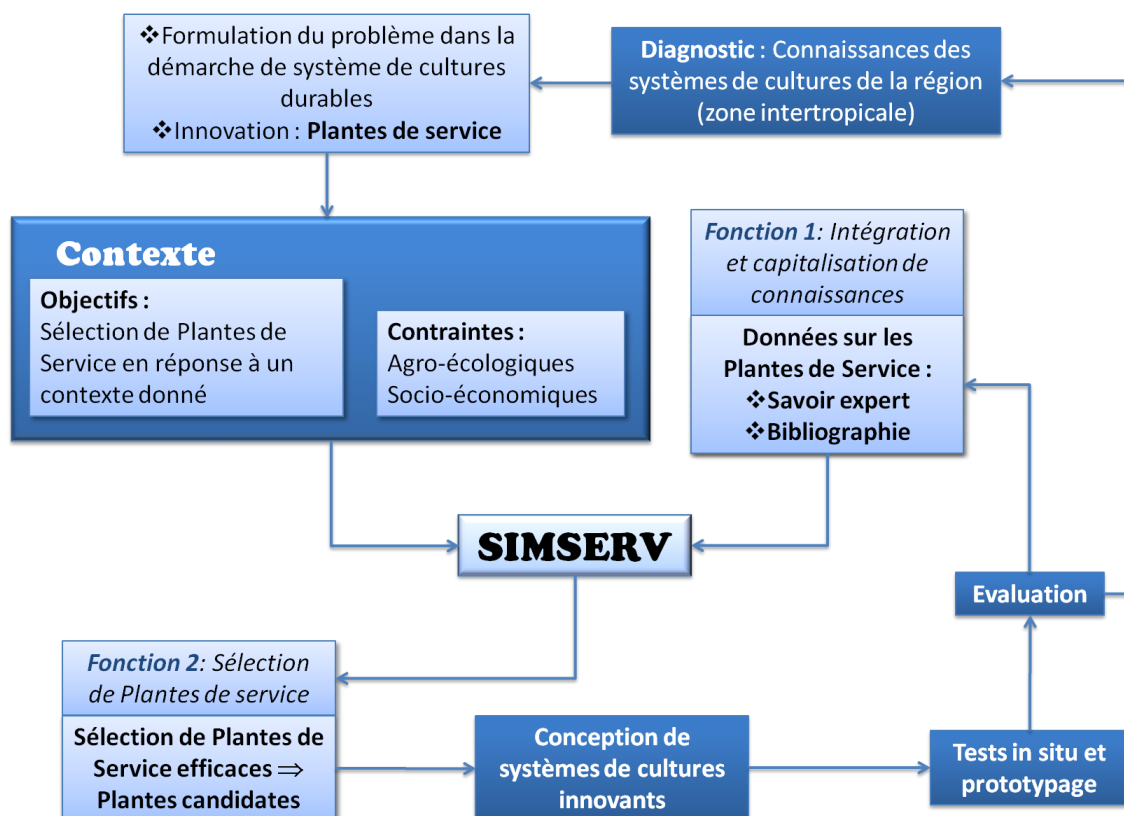
4. Objectif et hypothèses de travail

L'objectif de ce stage est de concevoir l'architecture d'un système expert pour la sélection de plantes de services en réponse à un contexte agropédoclimatique et socio-économique donné.

L'outil créé doit être capable de mobiliser le savoir expert, stocké dans une base de données, utilement afin d'optimiser la sélection de plantes de service. Ainsi, le nombre d'expérimentations pourra être diminué de manière considérable, étant donné que la quantité de plantes de service potentielles sera réduite via le crible effectué par l'application.

Dans un premier temps, l'outil est conçu en vue de sélectionner des plantes de service pour un service donné et non pas pour une combinaison de différents services. Le système expert sélectionne *les* plantes de service *les* plus aptes à rendre le service dans le contexte donné et non pas *la* plante de service *la* plus apte. Cependant, ces plantes de services pourront être, par la suite, soumises à des expérimentations ou des prototypages plus fins afin de déterminer au mieux la ou les meilleures candidates. L'outil ne permet donc qu'un premier dégrossissage parmi toutes les plantes de service répertoriées.

Figure 5 : Positionnement de SIMSERV dans une démarche de mise au point de système de culture innovants



III. Démarche méthodologique

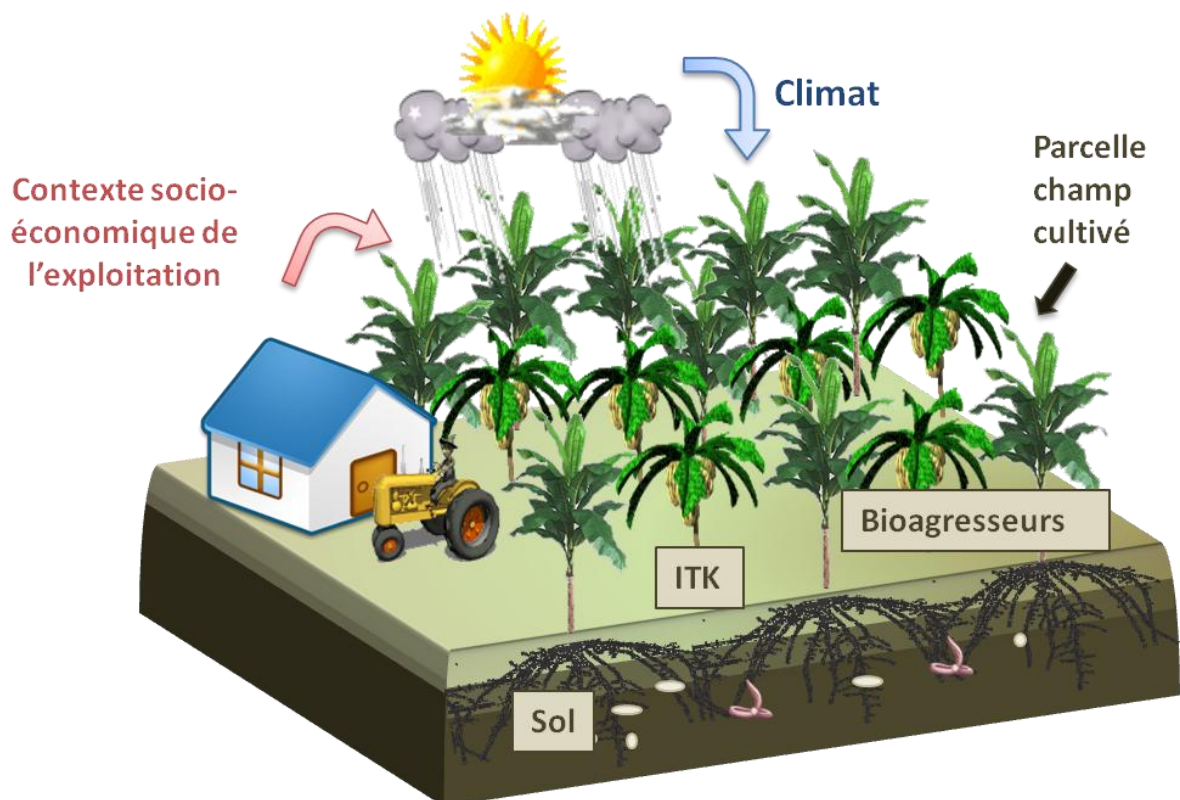
Afin de développer l'outil SIMSERV, une méthodologie de travail est mise en place. Cette méthodologie se base sur le processus de décision et ses différentes étapes.

Dans un premier temps, on définit le problème de décision ainsi que les limites du système étudié. Ensuite, il s'agit de modéliser le problème (arbre de décision) puis de le paramétrer (enquêtes auprès d'experts, indicateurs). Puis, on construit l'outil. Cette étape passe par le choix des outils de programmation, la programmation de l'outil en lui-même et la construction de la base de données exploitable par l'outil. La dernière étape correspond à l'évaluation de l'outil via des études de cas, la confrontation avec les experts ou encore la comparaison avec des exemples bibliographiques ou l'expérimentation.

1. Les composantes du système et son dimensionnement

Les limites du système étudié sont la **parcelle systémique**, c'est-à-dire la parcelle en interaction avec son environnement. Elle comprend le champ cultivé, le système technique et le climat de la parcelle ainsi que l'environnement socio-économique de l'exploitation. (**Figure 6**)

Figure 6 : La parcelle systémique



Ainsi, une plante de service doit à la fois satisfaire au service demandé mais aussi aux contraintes de la parcelle et de l'exploitation.

2. Le processus de décision pour la création d'un outil d'aide à la décision

La démarche méthodologique suivie pour la conception et le développement du système expert est celle du processus de décision. Le processus de décision se découpe en trois (voire quatre) grandes étapes selon le modèle IMC de Herbert Simon (Economiste, prix Nobel en 1978) :

- ✓ **L'Intelligence du problème** est la délimitation du problème et des facteurs à prendre en considération. Cette étape permet de mieux comprendre le problème.
- ✓ **La Modélisation** est l'identification et l'évaluation de toutes les solutions alternatives réalisables. Cette étape permet de se former une image correcte du problème à résoudre. C'est l'étape la plus importante du processus de décision.
- ✓ **Le Choix** est l'élaboration de critères de sélection, la hiérarchisation des solutions et enfin le choix d'une solution.

On rajoute généralement une quatrième étape pour le contrôle de la mise en œuvre d'une décision, d'un choix et l'exercice éventuel d'actions correctives.

Chaque étape du processus est adaptée au problème qui nous intéresse, à savoir la construction d'un outil expert 'aide à la sélection de plantes de service.

a) Poser la Problématique (Intelligence)

Il s'agit ici de bien poser le problème à résoudre : **sélectionner un pool de plantes de service qui permettent de répondre à un besoin pour un contexte donné.**

En réponse à un contexte et un service donnés (paramètres d'entrée de SIMSERV), l'outil doit sélectionner un certain nombre de plantes de service les plus aptes à rendre le service dans le contexte donné (paramètres de sortie de SIMERV).

Le contexte comprend les caractéristiques de la parcelle systémique défini précédemment (cf. **figure 6**) à savoir:

- ✓ les conditions environnementales de la parcelle
- ✓ le champ cultivé avec l'association éventuelle avec une culture principale ou l'insertion dans une rotation
- ✓ les contraintes socio-économiques de l'exploitation

Tous ces paramètres sont donc à prendre en compte dans la modélisation du problème.

b) Modélisation

La modélisation correspond ici à la conceptualisation du problème et donc de l'architecture du système expert.

La sélection d'une plante de service se fait par rapport au service potentiel que peut fournir la plante et par rapport à l'adéquation de cette plante avec le système étudié. Ainsi, le service réel rendu par la plante de service ne correspond pas forcément au service potentiel de celle-ci. Il est à moduler avec les conditions dans lesquels la plante de service va s'exprimer.

Les conditions d'expression du service peuvent être divisées en différentes sous-parties que sont :

- ✓ Les conditions environnementales de la parcelle (climat, sol, bioagresseurs,...)
- ✓ Les contraintes de l'exploitation agricole (main d'œuvre, équipements, coût,...)
- ✓ La compatibilité avec la culture associée ou avec la rotation effectuée sur la parcelle (compétition pour les ressources, bioagresseurs,...)

Chaque sous-partie peut encore être divisée en sous-problèmes plus simples de manière à obtenir un arbre de décision avec, à sa base, des critères, appartenant à différents domaines, qui peuvent être facilement renseignés grâce à des indicateurs. Ces indicateurs sont déterminés à dire d'experts dans chacun des domaines.

c) Enquêtes auprès d'experts et validation des indicateurs (Modélisation)

Pour chaque critère constituant la base de l'arbre, il faut trouver des indicateurs permettant d'évaluer l'adéquation de la plante de service et du système concerné pour ce critère particulier. La recherche d'indicateurs se fait à dire d'experts via des entretiens. Il s'agit de déterminer quels sont les critères clés, par domaine, pour implanter une plante de service dans un milieu donné. En effet, pour qu'une plante de service exprime tout son potentiel dans la réalisation d'un service, il faut qu'elle puisse se développer correctement dans le milieu.

Dans un domaine donné, plusieurs experts sont enquêtés, ce qui permet de confronter les dire de chacun.

L'entretien avec les experts est un entretien libre autour de la question « quels sont pour vous les paramètres majeurs à prendre en compte pour implanter une plante de service dans un milieu donné par rapport à un domaine précis », le domaine pouvant être les bioagresseurs, le climat, le sol et autres.

A la suite des entretiens, un important travail de tri et de synthèse des indicateurs cités doit être effectué. En effet, tout est question de compromis entre le nombre d'indicateurs et la robustesse de l'outil.

d) Choix des outils (Choix)

L'étape du choix ne correspond pas vraiment ici, comme dans la méthode IMC citée précédemment, au choix définitif de la solution mais plutôt au choix des outils pour traiter le problème. Cependant, le choix des outils conditionne aussi le choix des plantes de service, ils sont donc liés indirectement.

i. Support de la base de données

La base de données constitue la **base des connaissances** du système expert (cf. architecture du système expert, **figure 3**). C'est à cet endroit que sont stockées toutes les données concernant les plantes de service, les parcelles et les cultures de rente. En effet, pour renseigner un contexte, il faut des données inhérentes à la parcelle mais aussi à la culture associée à la plante de service. Les données sur la parcelle concernent aussi bien le contexte pédoclimatique que socio-économique.

La base de données est développée sous **Access** (Microsoft Office). Access est un système de gestion de base de données relationnelle. C'est un outil facile d'utilisation et largement employé dans la recherche scientifique (et autres domaines). De plus, la quantité de données dans la base ne remet pas en question l'utilisation de cet outil. Access sera ainsi utilisé dans un premier temps pour créer le prototype de l'outil ; cependant, il se pourrait que ce logiciel montre des limites si l'application SIMSERV est amenée à se développer de manière conséquente. La connexion utilisée entre la base de données et le moteur d'inférence est une connexion **ODBC**. C'est un format défini par Microsoft permettant la communication entre des clients base de données fonctionnant sous Windows comme Access et les systèmes de gestion de base de données du marché comme le PHP (cf. Glossaire ou ii. Interface graphique et moteur d'inférence).

ii. Interface et moteur d'inférence

L'**interface graphique** du système expert doit être ergonomique et conviviale. Elle est développée en **langage HTML**.

Le langage HTML permet de créer des pages Web contenant des textes, des liens hypertextes (liens vers d'autres pages web) et des composants multimédias (images, vidéos, sons,...). Il utilise une structure formée de balise (exemple : <html> (balise de début), </html> (balise de fin)). Il gère la mise en forme du texte et permet ainsi de générer des interfaces agréables. Par ailleurs, le système

expert a pour vocation de capitaliser du savoir dans le domaine des plantes de service et tous les domaines qui s’y rattachent. Ainsi, l’utilisation du langage html permettra de mettre l’application en réseau. La base de données pourra donc être renseignée par plusieurs équipes de recherche impliquées dans cette réflexion.

L’outil de calcul utilisé en langage html est le **langage PHP**. Il permet de dialoguer entre la base de données et l’interface. Il constitue ainsi le **moteur d’inférence** du système expert. C’est un langage de programmation web côté serveur (le serveur interprète le code PHP et génère du code pouvant être interprété par le navigateur). Contrairement à l’HTML, il crée des pages web dynamiques. Il est interactif et permet d’automatiser des fonctions répétitives (programmation) sur chaque page ou sur l’ensemble d’un site. Il peut aussi de gérer des bases de données.

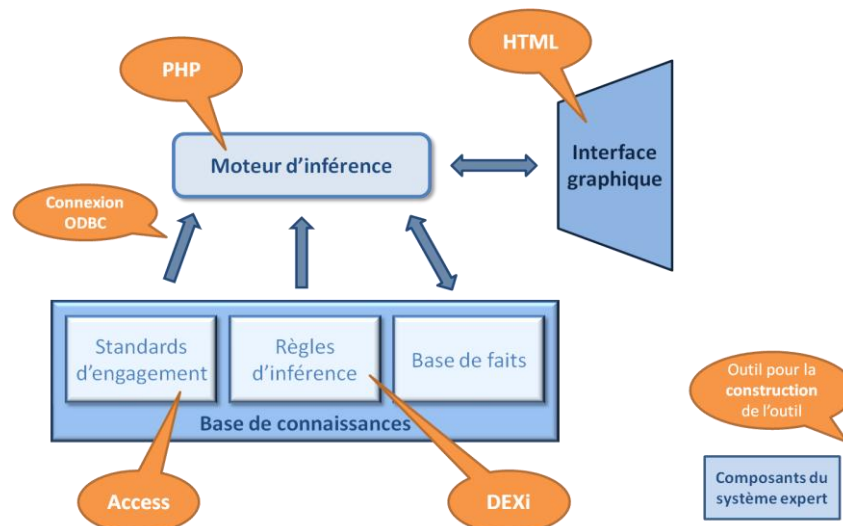
iii. Méthodes d’agrégation, règles d’inférence

La méthode de calcul permet de définir les **règles de décision** ou **règles d’inférence** de la base de connaissance du système expert. La méthode utilisée est la méthode **d’agrégation multicritère de DEXi**. Comme précisé précédemment, les algorithmes génétiques et les réseaux de neurones ne correspondaient pas vraiment avec le problème à traiter. La méthode de la logique floue semblait plus difficile à mettre en œuvre de part la création des fonctions d’appartenance pour les différents critères. Ainsi, le choix s’est porté sur la méthode multicritère via DEXi par souci de simplicité et à cause du peu de temps imparti.

iv. Récapitulatif des différents outils utilisés

Chaque outil a sa fonction bien défini au sein du système expert (**figure 7**).

Figure 7 : Outils utilisés pour la construction du système expert





3. Choix pour l’implémentation de la base de données

a) Les cultures principales

Dans le cadre du stage, on se limitera à l’étude de deux cultures de rente, la banane et l’igname qui sont les principales espèces étudiées au sein de l’unité de recherche ASTRO de l’INRA Antilles-Guyane. Ainsi, les données disponibles pour ces deux cultures sont conséquentes. De plus, leur mode de conduite et leur physiologie sont assez différents, ce qui permettra de tester deux types de

systèmes de cultures relativement contrastés. (**Tableau 3**) Ces données seront rentrées, non pas par l'utilisateur, mais par le gestionnaire de l'application SIMSERV. L'utilisateur n'aura qu'à sélectionner une culture à associer à la plante de service.

Tableau 3 : Principales caractéristiques des cultures de rente retenues

	Banane dessert	Igname
Familles / Genre	✓ Musacées / Musa	✓ Dioscoreacées/ Discorea
Cycle	✓ Plante semi-pérenne, cycle annuel à reproduction végétative par rejets ✓ Durée du cycle : 12 à 16 mois	✓ Plante annuelle ✓ Durée du cycle : 7 à 10 mois
Surface cultivée	✓ Surface mondiale : 4,8 millions d'ha cultivés - 143 000 ha dans la Caraïbes - 2 340 ha en Guadeloupe (source : FAO, 2008)	✓ Surface mondiale : 4,9 millions d'ha cultivés - 104 000 ha dans la Caraïbes - 300 ha en Guadeloupe (source : FAO, 2008)
Production	✓ Production mondiale : 91 millions de tonnes - 1,7 millions de tonnes dans la Caraïbes - 40 000 tonnes en Guadeloupe (dédié à l'export) (source : FAO, 2008)	✓ Production mondiale : 52 millions de tonnes - 638 000 tonnes dans la Caraïbes - 3 600 tonnes en Guadeloupe (consommation locale) (source : FAO, 2008)
Contraintes	✓ Sensible aux basses températures ✓ Exigeante en eau ✓ Sol bien drainé ✓ Main d'œuvre importante	✓ Sensible à de nombreux ravageurs ✓ Exigeante en eau ✓ Commercialisation
		

b) Les plantes de service

Les plantes de service sont multiples. A travers la synthèse bibliographique effectuée en début de stage, un peu moins d'une centaine de plantes de service a été répertoriées (**annexe 7**). Cependant, toutes les plantes de service ne sont pas aussi bien renseignées les unes que les autres. Ainsi, il reste encore un important travail à fournir sur la caractérisation de certaines plantes de service, en particulier sur leurs conditions de développement et leurs modes de conduite.

Ces paramètres seront rentrés par le gestionnaire de l'application et non pas par un utilisateur lambda.

c) Les parcelles

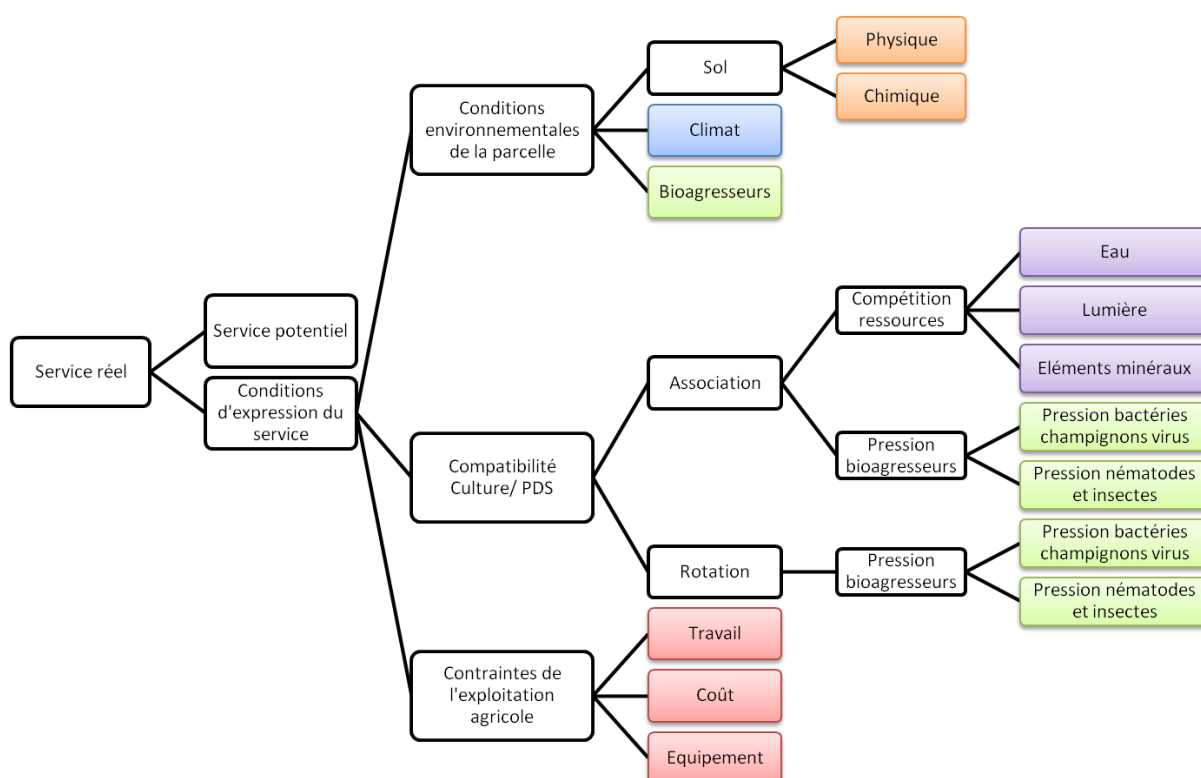
Les parcelles correspondent aux parcelles systémiques et comprennent à la fois des paramètres pédoclimatiques et socio-économiques. Ce sont ces paramètres qui seront entrés par l'utilisateur lambda.

IV. Résultats

1. Arbre de décision, architecture de SIMSERV

Après avoir examiné un certain nombre de possibilités, la structure de base retenue pour l'arbre de décision est présentée en **figure 8**.

Figure 8 : Arbre de décision de "base"



Les indicateurs en couleur correspondent à des indicateurs agrégés dont les sous-arbres de décision sont présentés en **annexe 8**.

L'indicateur « Service réel » correspond à la racine de l'arbre et sert à sélectionner et classer les plantes de service. Il est calculé pour chaque plante de service. Il se divise entre le « Service potentiel », notant la capacité de la plante à rendre ou non le service sélectionné et les « Conditions d'expression du service » qui modulent la note précédente selon les possibilités d'adaptation de la plante au contexte. L'indicateur « Service potentiel » regroupe tous les services de plantes retenus qui sont au nombre de 5 pour cette première version du système (nématoregulation, lutte contre les adventices, lutte contre l'érosion, engrais vert, tuteur). Pour ce qui est de l'indicateur « Conditions d'expression du service », il comporte trois volets correspondant à la parcelle, la culture associée et l'exploitation, eux-mêmes subdivisés en sous-parties.

2. Indicateurs, résultats des enquêtes auprès d'experts

A la suite du travail de synthèse effectué à partir des entretiens avec les experts (**annexe 9**), la liste des indicateurs retenus est présentée en **annexe 10**. Ils sont répertoriés par catégorie. Ils sont au nombre de 92 pour les plantes de service dont 5 services, de 56 pour les cultures de rente et de 30 pour les parcelles. Les indicateurs agrégés sont aussi considérés comme des indicateurs mais ne sont renseignés ni par les utilisateurs, ni par les gestionnaires de l'application. Ils sont calculés à

partir des fonctions d'agrégation définies dans DEXi. Ces indicateurs sont au nombre de 146. Chaque indicateur est calculé pour chaque plante de service.

L'indicateur « Service réel » servant à sélectionner et classer les plantes de service peut prendre quatre valeurs différentes :

- ✓ *Nul* : la plante n'est pas appropriée pour le service sélectionné, l'indicateur « Service potentiel » prend la valeur « non » ;
- ✓ *Peu efficace* : le service peut potentiellement être rendu, mais le milieu ne convient pas à la plante de service ;
- ✓ *Moyennement efficace* : le service peut potentiellement être rendu et l'adéquation entre le milieu et la plante de service est moyenne ;
- ✓ *Très efficace* : c'est le meilleur des cas, la plante de service exprime tout son potentiel.

Certains indicateurs dits agrégés ne sont pas calculés à partir des règles de décision de DEXi comme les autres. Ce sont des exceptions, elles sont au nombre de trois :

- ✓ **Service potentiel** : il prend la valeur de la note du service sélectionné

Exemple :

- Le service sélectionné est *tuteur*
- L'indicateur est calculé pour la plante de service *Arachis pintoï* qui prend la note « non » pour le service *tuteur*
- Alors *Service potentiel* prend la valeur « non » pour la plante de service *Arachis pintoï*
- ✓ **Compatibilité culture – PDS** : il prend la valeur de l'indicateur « Association » ou « Rotation » suivant la sélection de l'utilisateur (sélectionné dans le choix d'implantation de la plante de service, dans les paramètres d'entrées)

Exemple :

- Le choix d'implantation est l'*Association*
- L'indicateur est calculé pour la plante de service *Arachis pintoï* qui prend la note « moyen » pour l'indicateur *Association* (indicateur calculé pour un contexte donné via les règles de décision de DEXi)
- Alors *Compatibilité culture-PDS* prend la valeur « moyen » pour la plante de service *Arachis pintoï*
- ✓ **Rotation** : il prend la valeur de *Pression bioagresseurs* et pas la valeur de l'agrégation *Pression bioagresseurs* et *Compétition ressources* comme dans le cas de l'*Association* ;

Exemple :

- La note de l'indicateur *Pression bioagresseurs* est « élevée » pour la plante de service *Arachis pintoï* (indicateur calculé pour un contexte donné via les règles de décision de DEXi)
- Alors *Rotation* prend la valeur « élevée » pour la plante de service *Arachis pintoï*

La conception de la structure de l'application et le choix des outils étant effectués, la programmation de SIMSERV peut débuter.

3. Construction de l'outil et implémentation de la base de données

L'outil SIMSERV est composé d'une base de données développée sous Access et d'un dossier de programmation comprenant des fichiers php et html ainsi que des fichiers DEXi.

a) La base de données sous Access

La base de données permet le stockage de l'information. Sous Access, elle se divise en différentes *tables* (exemple : table des catégories) reliées entre elles par des *relations* (figure 9). Le détail de chaque table est présenté dans le **tableau 4**.

Figure 9 : Modèle conceptuel de données de la base de données sous Access

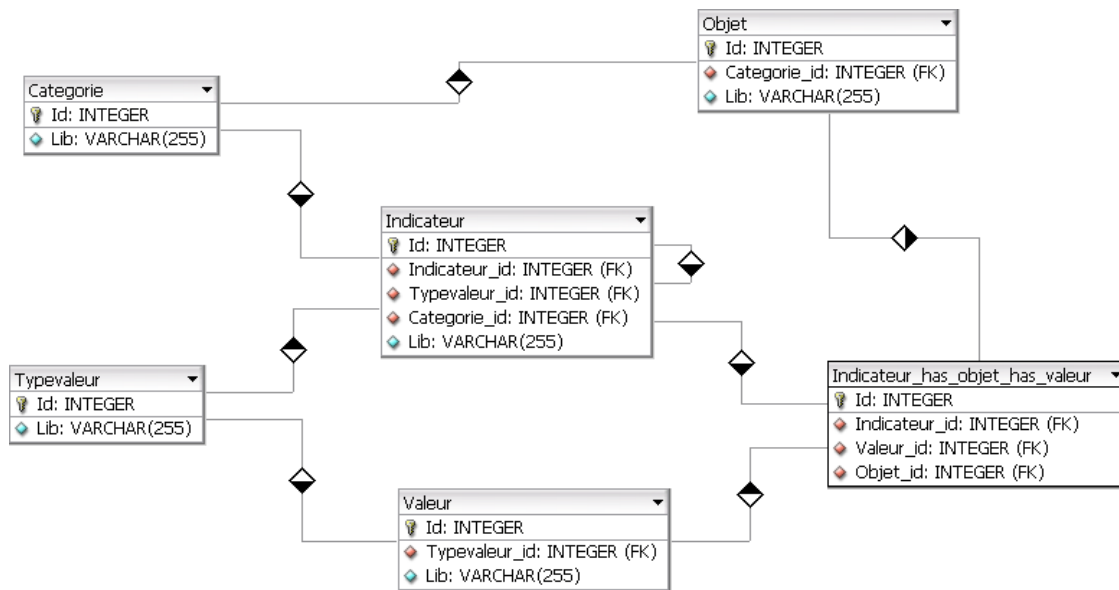


Tableau 4 : Détail des différentes tables d'Access

Table « Catégorie »				
id	lib	La table des catégories correspond aux différentes catégories auxquelles peuvent appartenir les indicateurs ou les objets. Elle comprend 2 champs : identifiant (<i>id</i>) et libellé (<i>lib</i>). Chaque indicateur ou objet peut avoir une et une seule catégorie. Par contre, une catégorie peut contenir plusieurs objets ou indicateurs.		
1	Parcelle			
2	Plante de service			
3	Plante principale (Culture de rente)			
14	Néant			
Table « Objets »				
id	lib	categorie_id	La table objet permet de lister les différentes plantes de service, plantes principales et parcelles. Elle possède 3 champs : <i>id</i> , <i>lib</i> et l'identifiant de la catégorie auquel l'objet appartient (<i>categorie_id</i>).	
1	Banane	3 (Plante principale)		
3	Canavalia	2 (Plante de service)		
5	Duclos	1 (Parcelle)		
Table « Indicateurs »				
id	lib	categorie_id	parent_id	type_id
62	Présence de cailloux	1 (Parcelle)	61 (Implantation parcelle)	1 (Booléen)
55	Coût	14 (Néant)	37 (Contraintes de l'exploitation agricole)	2 (Graduel)
Cette table contient tous les indicateurs de l'arbre. Elle possède 5 champs : <i>id</i> , <i>lib</i> , <i>categorie_id</i> , l'identifiant du parent de l'indicateur qui permet de retracer la hiérarchisation des indicateurs (<i>parent_id</i>) et l'identifiant du type de valeur que peut prendre l'indicateur (<i>type_id</i>).				
Chaque indicateur a une liste finie de valeurs possibles (ce qui permet de générer des listes déroulantes dans l'application pour renseigner les différents indicateurs). Si un indicateur prend la valeur 14 en <i>categorie_id</i> , cela signifie que c'est un indicateur agrégé.				

Table « Type_valeur »				
id	lib	Cette table contient tous les types de valeurs rencontrés dans la table « indicateur ». Elle permet de regrouper toutes les valeurs appartenant à un même type et ainsi de créer des listes déroulantes par indicateur. Un indicateur possède un et un seul type de valeur.		
1	Bolléen			
2	Graduel			
Table « Valeur »				
id	lib	type_id	La table « type_valeur » permet de classer toutes les valeurs pouvant être prises par tous les indicateurs de la table « indicateur ». Chaque valeur appartient à un et un seul type. Par contre, un type regroupe plusieurs valeurs.	
1	Oui	1 (Booléen)		
2	Non	1 (Booléen)		
Table « Indicateur_has_objet »				
id	Indicateur_id	Objet_id	Valeur_id	Cette table est une table intermédiaire faisant la jointure entre les tables « indicateur », « objet » et « valeurs ». Ainsi, pour chaque objet et chaque indicateur, on stocke dans cette table la valeur affectée.
12	62 (Présence de cailloux)	5 (Duclos)	2 (Non)	

A toutes ces tables, viennent s'ajouter deux tables permettant la gestion des droits d'accès à l'application. Ce sont les tables « *Admin_groupe* » et « *Admin_user* » (tableau 5).

Tableau 5 : Détail des tables "Admin_groupe" et "Admin_user"

Table « Admin_groupe »			
id	lib	Cette table permet de gérer les différents profils de l'application. Le profil Utilisateur peut entrer uniquement des parcelles et lancer des recherches de plantes de service. Le profil Gestionnaire peut, en plus de l'utilisateur, entrer des plantes de service et des cultures de rente. Quant au profil Administrateur , il gère en plus du gestionnaire, les droits d'accès au site et l'arborescence des indicateurs.	
1	Utilisateur		
2	Administrateur		
3	Gestionnaire		
Table « Admin_user »			
Name	Login	Pwd	Gpe_fk
Administrateur	admin88	« motdepasse » crypté	1 (Utilisateur)
Cette table gère les droits d'accès au site et contient tous les login et mots de passe reconnus lors de l'identification. Pour chaque groupe de login et mot de passe, on définit un nom et un type de profil. Pour plus de sécurité, le mot de passe est crypté dans la base de données.			

b) La programmation du système expert

L'application SIMSERV est composée d'un dossier comprenant plusieurs dossiers et fichiers :

- ✓ **Dossier « bdd »** : contient la définition de toutes les classes (tables) de la base de données et la base de données sous Access
- ✓ **Dossier « conf »** : contient tous les fichiers permettant la configuration du site (structure du site, autorisation d'accès pour chaque profil, définition des champs de l'application)
- ✓ **Dossier « css »** : permet la mise en page du site
- ✓ **Dossier « img »** : contient toutes les images de l'application
- ✓ **Dossier « docs »** : contient tous les documents avec un format différents de celui de php (fonctions d'agrégation exportées au format .dat et l'arbre de décision au format .dxi)
- ✓ **Dossier « inc »** : contient les fichiers permettant la gestion des langues et le traitement de fichiers au format autre que php

- ✓ **Dossier « lang »** : contient tout le texte de l'application traduit dans les langues disponibles
- ✓ **Fichiers «formulaires des classes »** : correspond à tous les fichiers permettant la saisie de données par classes (parcelles, plantes de services, cultures de rente,...)
- ✓ **Fichiers «pages d'accueil »** : correspond à la page d'accueil principale et aux pages d'accueil par profil
- ✓ **Fichier « frm_requete »** : permet de sélectionner un scénario de sélection de plantes de service
- ✓ **Fichier « agregation »** : calcul et affichage des plantes de service sélectionnées et classées
- ✓ **Fichier « .htaccess »** : fichier de configuration du serveur web
- ✓ **Fichier « error »** : affiche les messages d'erreur
- ✓ **Fichier « export_dexi »** : génère un fichier .dxi contenant l'arbre de décision

i. Page d'accueil et profils d'utilisateur

Lorsque l'on se connecte sur SIMSERV, la première page à s'afficher est la page d'accueil (**figure 10**). Cette page présente une brève description de SIMSERV et de ses fonctionnalités. Elle permet de s'identifier pour accéder aux différents menus. Il existe trois profils différents pour l'identification. Selon le profil, l'accès aux différentes pages de l'application varie :

- ✓ Le profil *Visiteurs* permet d'accéder au menu visiteurs comprenant la saisie des parcelles et la sélection de plantes de service
- ✓ Le profil *Gestionnaire* permet d'accéder au menu visiteurs et au menu gestionnaire comprenant la saisie des plantes de services et des cultures de rentes
- ✓ Le profil *Administrateur* permet d'accéder à toutes les fonctionnalités précédentes, de gérer les droits d'accès et la structure de l'application, à savoir l'arbre de décision, les indicateurs et les fonctions d'agrégation.

Figure 10 : Page d'accueil de SIMSERV



1 : Choix de la langue

2 : Barre de navigation permettant de revenir à l'accueil, de visiter la galerie des plantes de service (pas encore réalisée, cf. **Conclusion et perspectives**), d'accéder à l'aide (affichage du manuel d'utilisation),...

3 : Formulaire de connexion permettant d'identifier le profil d'utilisateur et de gérer les droits d'accès aux différentes pages

4 : Brève description de SIMSERV et de ses fonctionnalités

5 : Photos de quelques plantes de service répertoriées dans la base de données

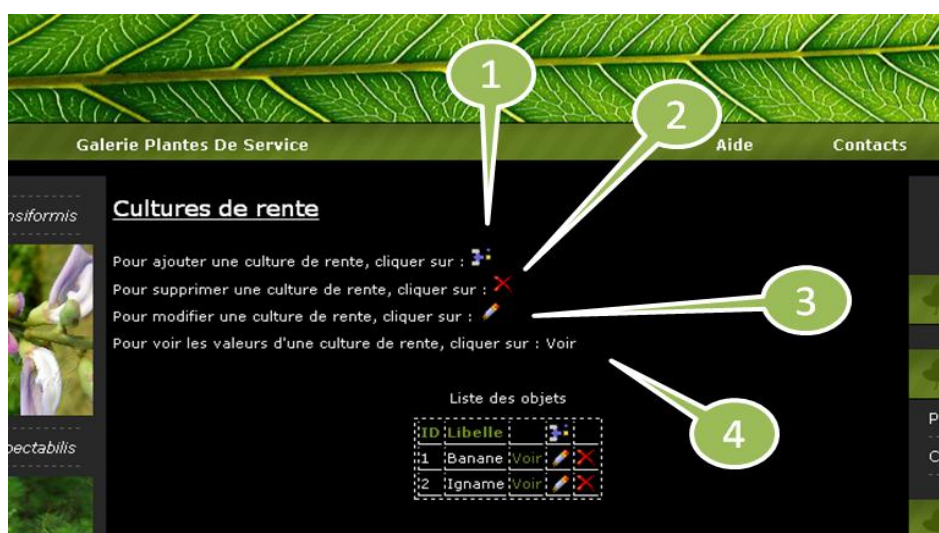
6 : Accès aux différents menus de l'application selon le profil

ii. Alimentation de la base de données SIMSERV

L'une des vocations de l'outil est de capitaliser du savoir expert. Ainsi, l'une des fonctionnalités principales de l'application est la saisie de données sur les plantes de service, mais aussi les cultures de rente et les parcelles via des formulaires (**11**). Ces données seront stockées dans la base de données de l'application.

La saisie de données sur les parcelles s'effectue via le menu « visiteurs » alors que la saisie de données sur les plantes de service et les cultures principales s'effectue via le menu « gestionnaire ».

Figure 11 : Exemple de formulaire, saisie des cultures de rente



1 : Ajout d'une culture de rente

2 : Suppression d'une culture de rente

3 : Modification des données concernant une culture de rente

4 : Consultation des données concernant une culture de rente

Tous les formulaires ont la même structure. Si aucune donnée n'est disponible pour renseigner un indicateur, alors on lui affecte la valeur ou la note moyenne. S'il n'y a que deux valeurs possibles, alors on lui affecte la valeur (ou note) la plus faible.

iii. Fonction recherche de plantes de service

La deuxième fonctionnalité principale de SIMSERV est la sélection de plantes de service en réponse à un service et un contexte donné.

La sélection de plantes de service passe par le remplissage d'un formulaire permettant de modéliser un scénario de sélection (**figure 12**). Ce formulaire est accessible via le menu « visiteur ».

Figure 12 : Formulaire de sélection de scénario

1 : Choix du service

2 : Choix de l'implantation de la plante de service, soit en association, soit en rotation

3 : Choix d'une parcelle (préalablement créée)

4 : Choix d'une culture de rente (culture associée ou culture suivant la plante de service pour la rotation)

5 : Lancer la sélection et le classement de plantes de service en fonction du scénario entré

Le résultat de la sélection se présente sous la forme d'un tableau avec le libellé des plantes de service retenues ainsi que leur note pour l'indicateur « Service réel » (figure 13).

Figure 13 : Classement des plantes de service

ID	Plantes de service	Service
73	Crotalaria retusa	Moyennement efficace
70	Crotalaria mucronata	Moyennement efficace
69	Crotalaria longirostrata	Moyennement efficace
68	Crotalaria juncea	Moyennement efficace
72	Crotalaria spectabilis	Moyennement efficace
91	Stylosanthes guianensis	Moyennement efficace
80	Leucaena leucocephala	Moyennement efficace
54	Pennisetum americanum	Moyennement efficace
92	Stylosanthes gracilis	Moyennement efficace
93	Stylosanthes hamata	Moyennement efficace
71	Crotalaria paulinea	Moyennement efficace
94	Vigna unguiculata	Moyennement efficace
66	Canavalia ensiformis	Moyennement efficace
63	Cajanus cajan	Peu efficace
76	Bilchab lablab	Peu efficace
79	Lablab purpureus	Peu efficace
83	Mucuna aterrima	Peu efficace
61	Alysicarpus vaginalis	Peu efficace
84	Mucuna deeringiana	Peu efficace
88	Pueraria phaseoloides	Nul
95	Zornia microphylla	Nul
55	Pennisetum purpureum	Nul

- 1 : Identifiant de la plante de service
- 2 : Nom de la plante de service
- 3 : Note obtenue pour l'indicateur « Service réel »

iv. Méthode pour créer les règles de décision :

Afin de créer les règles de décision, l'arbre de décision est exporté vers DEXi. Cette fonctionnalité n'est accessible que pour le profil Administrateur. Une fois l'arbre exporté, on ouvre le fichier avec le logiciel DEXi. Les règles sont définies sous ce logiciel pour chaque indicateur agrégé ou pour l'indicateur dont on souhaite modifier la règle de décision. Une fois les règles définies, il reste à les exporter vers SIMSERV dans le dossier *docs* au format : **fct_(nom de la fonction).dat**. Ces règles seront utilisées par la suite pour calculer les indicateurs agrégés (figure 14).

Figure 14 : Export de l'arbre vers le logiciel DEXi



- 1 : Explication de la procédure à suivre pour créer les fonctions d'agrégation
- 2 : Lien pour ouvrir le fichier .dxi avec DEXi
- 3 : Affichage de l'arbre exporté vers DEXi

v. Méthode pour exploiter les règles de décision et calculer les indicateurs

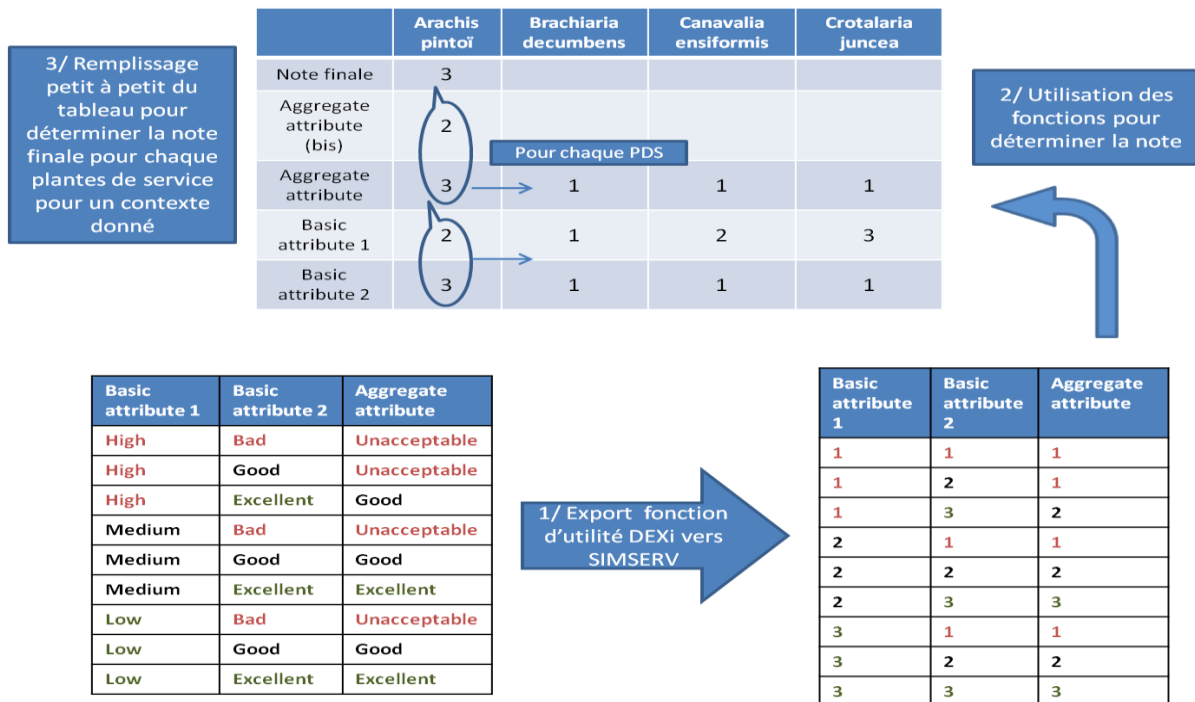
De manière à déterminer la note de l'indicateur « Service réel », celui qui nous intéresse pour la sélection et le classement des plantes de service, on remplit petit-à-petit un tableau contenant tous les indicateurs et toutes les plantes de service (figure 15).

Figure 15 : Méthode de calcul pour l'agrégation des critères en programmation

Indicateurs	PDS	Arachis pintoï	Brachiaria decumbens	Canavalia ensiformis	Crotalaria juncea	...
Service réel			2 Notes permettant de calculer « service réel »			
Service potentiel		Moyen	Elevé	Moyen	Faible	
Conditions d'expression du service			1 Notes permettant de calculer « conditions d'expression du service »			
Conditions environnementales de la parcelle		Faible	Elevé	Elevé	Moyen	
Compatibilité culture PDS		Elevé	Faible	Moyen	Moyen	
Contraintes de l'exploitation agricole		Faible	Moyen	Faible	Elevé	
...						

Les valeurs des indicateurs de la base de l'arbre sont renseignées pour chaque plante de service. Ce sont elles qui vont permettre de remplir les valeurs des indicateurs du niveau supérieur via les règles d'agrégation définies. Ce processus se répète pour chaque plante de service jusqu'au remplissage de la valeur du dernier indicateur (« service réel »), le sommet (ou racine) de l'arbre. C'est à partir des valeurs de cet indicateur que le classement sera effectué. Afin de remplir les indicateurs agrégés, les règles définies préalablement dans DEXI sont utilisées (figure 16).

Figure 16 : Dialogue entre SIMSERV et DEXi pour le calcul des indicateurs



Les règles exportées sont codées, les valeurs linguistiques sont remplacées par des chiffres. Chaque chiffre est affecté à une valeur par ordre d'apparition dans la base de données (étape 1). Ce sont ces combinaisons de chiffres qui vont permettre de déterminer la note de l'indicateur agrégé (étape 2 et 3). Une fois le tableau final obtenu, il ne reste plus qu'à retransformer les valeurs de l'indicateur final en variable linguistique.

Afin d'évaluer dans un premier temps, la fonctionnalité de l'outil, quelques tests de scénarios sont effectués.

4. Tests de scénarios

Afin de pouvoir appréhender la fonctionnalité de l'application en termes de sélection de plantes de service, la base de données est implémentée avec 62 plantes de service, 2 cultures de rente (banane et igname) et deux parcelles fictives (parcelle 1 et parcelle 2). Cette étape nécessite un important travail de recherche bibliographique et de paramétrage de l'outil. Les deux parcelles créées possèdent des caractéristiques très différentes :

- Parcelle 1 :**
- ✓ Beaucoup de main d'œuvre, d'équipement et de trésorerie
 - ✓ Climat sec, venteux avec des températures élevées
 - ✓ Sol avec des potentialités agronomiques élevées
 - ✓ Pression des bioagresseurs importante
- Parcelle 2 :**
- ✓ Peu de main d'œuvre, d'équipement et de trésorerie
 - ✓ Climat humide, peu venté avec des températures moyennes
 - ✓ Sol avec des potentialités agronomiques faibles
 - ✓ Pression des bioagresseurs faible

Pour éviter de multiplier les scénarios de sélection, seuls quelques services sur les 5 renseignés dans la base de données sont testés. Les scénarios testés sont présentés dans le **tableau 6**.

Tableau 6 : Scénarios de sélection

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Service	Engrais vert	Adventices	Nématorégulation	Nématorégulation
Implantation	Association	Rotation	Association	Rotation
Parcelle	Parcelle 1	Parcelle 2	Parcelle 1	Parcelle 2
Culture de rente	Igname	Igname	Banane	Banane

Le classement des plantes de service calculé par SIMSERV pour chacun des cinq scénarios est donné dans le **tableau 7**.

Tableau 7 : Classement des plantes de service par scénario

Scénario 1			Scénario 2		
ID	Plantes de service	Service	ID	Plantes de service	Service
72	Crotalaria spectabilis	Très efficace	72	Crotalaria spectabilis	Moyennement efficace
91	Stylosanthes guianensis	Très efficace	93	Stylosanthes hamata	Moyennement efficace
73	Crotalaria retusa	Très efficace	73	Crotalaria retusa	Moyennement efficace
70	Crotalaria mucronata	Très efficace	70	Crotalaria mucronata	Moyennement efficace
68	Crotalaria juncea	Très efficace	69	Crotalaria longirostrata	Moyennement efficace
69	Crotalaria longirostrata	Très efficace	91	Stylosanthes guianensis	Moyennement efficace
92	Stylosanthes gracilis	Très efficace	48	Digitaria decumbens	Moyennement efficace
76	Dolichos lablab	Très efficace	82	Medico sativa	Moyennement efficace
83	Mucuna aterrima	Très efficace	53	Paspalum notatum	Moyennement efficace
84	Mucuna deeringiana	Très efficace	81	Macroptilium atropurpureum	Moyennement efficace
80	Leucaena leucocephala	Très efficace	55	Pennisetum purpureum	Moyennement efficace
79	Lablab purpureus	Très efficace	56	Sorghum	Moyennement efficace
54	Pennisetum americanum	Très efficace	68	Crotalaria juncea	Moyennement efficace
93	Stylosanthes hamata	Très efficace	71	Crotalaria paulinea	Moyennement efficace
71	Crotalaria paulinea	Très efficace	94	Vigna unguiculata	Moyennement efficace
66	Canavalia ensiformis	Très efficace	44	Brachiaria decumbens	Moyennement efficace
63	Cajanus cajan	Très efficace	43	Brachiaria humidicola	Moyennement efficace
94	Vigna unguiculata	Très efficace	66	Canavalia ensiformis	Moyennement efficace
61	Alysicarpus vaginalis	Très efficace	65	Calopogonium mucunoides	Moyennement efficace
			62	Arachis pintoi	Peu efficace
			87	Neonotonia wightii	Peu efficace
			88	Pueraria phaseoloides	Peu efficace

Scénario 3			Scénario 4		
ID	Plantes de service	Service	ID	Plantes de service	Service
85	Mucuna pruriens	Très efficace	70	Crotalaria mucronata	Moyennement efficace
86	Mucuna utilis	Très efficace	71	Crotalaria paulinea	Moyennement efficace
87	Neonotonia wightii	Très efficace	69	Crotalaria longirostrata	Moyennement efficace
52	Panicum maximum	Très efficace	80	Leucaena leucocephala	Moyennement efficace
84	Mucuna deeringiana	Très efficace	97	Chrysanthemum coronarium	Moyennement efficace
83	Mucuna aterrima	Très efficace	73	Crotalaria retusa	Moyennement efficace
48	Digitaria decumbens	Très efficace	72	Crotalaria spectabilis	Moyennement efficace
80	Leucaena leucocephala	Très efficace	48	Digitaria decumbens	Moyennement efficace
81	Macroptilium atropurpureum	Très efficace	81	Macroptilium atropurpureum	Moyennement efficace
53	Paspalum notatum	Très efficace	53	Paspalum notatum	Moyennement efficace
55	Pennisetum purpureum	Très efficace	55	Pennisetum purpureum	Moyennement efficace
102	Tagetes tenuifolia	Très efficace	90	Sesbania aculeata	Moyennement efficace
59	Zea mays	Très efficace	96	Chromolaena odorata	Moyennement efficace
103	Zinnia elegans	Très efficace	68	Crotalaria juncea	Moyennement efficace
101	Tagetes patula	Très efficace	46	Chloris gayana	Moyennement efficace
100	Tagetes minuta	Très efficace	101	Tagetes patula	Moyennement efficace
92	Stylosanthes gracilis	Très efficace	102	Tagetes tenuifolia	Moyennement efficace
98	Tagetes erecta	Très efficace	59	Zea mays	Moyennement efficace
99	Tagetes lucida	Très efficace	103	Zinnia elegans	Moyennement efficace
72	Crotalaria spectabilis	Très efficace	100	Tagetes minuta	Moyennement efficace
78	Indigofera spicata	Très efficace	44	Brachiaria decumbens	Moyennement efficace
97	Chrysanthemum coronarium	Très efficace	99	Tagetes lucida	Moyennement efficace
68	Crotalaria juncea	Très efficace	67	Canavalia rosea	Moyennement efficace
69	Crotalaria longirostrata	Très efficace	66	Canavalia ensiformis	Moyennement efficace
70	Crotalaria mucronata	Très efficace	98	Tagetes erecta	Moyennement efficace
96	Chromolaena odorata	Très efficace	92	Stylosanthes gracilis	Moyennement efficace
46	Chloris gayana	Très efficace	83	Mucuna aterrima	Peu efficace
44	Brachiaria decumbens	Très efficace	84	Mucuna deeringiana	Peu efficace
63	Cajanus cajan	Très efficace	87	Neonotonia wightii	Peu efficace
67	Canavalia rosea	Très efficace	52	Panicum maximum	Peu efficace
71	Crotalaria paulinea	Très efficace	86	Mucuna utilis	Peu efficace
66	Canavalia ensiformis	Très efficace	85	Mucuna pruriens	Peu efficace
73	Crotalaria retusa	Très efficace	78	Indigofera spicata	Peu efficace
90	Sesbania aculeata	Moyennement efficace	63	Cajanus cajan	Peu efficace

Les résultats varient énormément d'un scénario à l'autre. Même si pour un même service, on retrouve les mêmes plantes de service, leurs potentialités en terme de service diffèrent suivant la parcelle ou le type d'implantation choisies. Il serait aussi intéressant d'effectuer des analyses de sensibilités par rapport aux paramètres entrés pour le scénario.

On peut tester deux scénarios identiques et ne faire varier que la culture de rente (résultats présentés en **annexe 11**). D'après ces résultats, le choix de la culture de rente ne semble pas déterminant dans le classement des plantes de service (excepté la plante de service *Dolichas lablab* qui passe de la catégorie « *moyennement efficace* » avec l'igname à « *peu efficace* » avec la banane).

En **annexe 12**, on fait uniquement varier la parcelle, les résultats présentés montrent que les plantes de service vont avoir des aptitudes très différentes selon la parcelle sélectionnée. Il semblerait donc que le choix de la parcelle est un impacte plus grand que le choix de la culture de rente. Cependant, les parcelles fictives étant de nature très différentes, il peut paraître normal que les résultats soit d'autant plus contrastés.

Des analyses plus poussées apparaissent donc comme étant indispensables.

C'est une première étape dans l'évaluation de l'application SIMSERV. Elle devra cependant être complétée par des tests expérimentaux, par la confrontation des résultats au savoir expert, et par des analyses de sensibilité.

V. Discussion

L'outil SIMSERV a été conçu comme un système expert permettant de diminuer le temps de sélection d'une plante de service pour un contexte donné. Il croise des données sur les plantes de service avec des informations concernant les caractéristiques agro-écologiques et socio-économiques d'une parcelle. Il permet ainsi d'effectuer un premier tri parmi toutes les plantes de service répertoriées dans la base de données en éliminant les plantes les moins aptes. Cependant, le travail réalisé présente certaines limites et des améliorations sont à envisager.

Etant donné la durée du stage, l'évaluation de l'outil n'a pu être menée à son terme. En effet, une deuxième confrontation avec les experts sur les résultats donnés par l'outil aurait été intéressante. Par ailleurs, des ajustements, notamment au niveau des règles de décision, devront sans doute être effectués. Les plantes de service sélectionnées par l'application pourront aussi être soumises à des expérimentations de manière à comparer les résultats fournis par le système expert et ceux obtenus au champ.

L'architecture de l'outil SIMSERV a été pensée pour être ergonomique et conviviale en gérant le nombre d'indicateurs comme un compromis entre le nombre et la robustesse de l'outil. Cependant, certaines parties de l'arbre sont assez fastidieuses à entrer telle la partie relative aux bioagresseurs. Ainsi, faudrait-il peut-être repenser cette partie de l'arbre pour qu'elle soit moins complexe. Par ailleurs, lors du travail de synthèse des indicateurs, certains critères ont été jugés comme étant négligeables et ont donc été retirés de l'arbre de décision de manière à alléger la structure. Néanmoins, cette partie devra être ré-évaluée de manière à déterminer quels indicateurs sont vraiment négligeables. Elle pourra se faire par l'évaluation, les analyses de sensibilité de l'outil et la confrontation avec les experts.

La méthode d'agrégation utilisée est la méthode d'agrégation multicritère de DEXi. C'est une méthode facile à utiliser, moins exigeante sur le plan de la conceptualisation du modèle, comparativement aux autres méthodes évoqués (réseaux de neurones, algorithmes génétiques, logique floue). De ce fait, elle convenait parfaitement au calendrier imparti pour le développement de SIMSERV ; cependant, elle reste fastidieuse à implémenter, notamment pour les sous-arbres présentant beaucoup d'indicateurs et donc de nombreux niveaux d'agrégations. Elle a aussi le défaut de multiplier les niveaux d'agrégation car DEXi ne gère que des agrégations de trois indicateurs maximum. Une autre méthode aurait sans doute pu être utilisée de manière à rendre le paramétrage moins fastidieux. Cependant, il faut toujours rechercher le compromis entre la durée de paramétrage et la résolution attendue.

L'outil SIMSERV n'a été paramétré que pour certains services. Les services dits de valorisation animale, valorisation économique ou autres, sont autant de services importants à prendre en compte pour l'adoption d'une plante de service sur une parcelle. En effet, une plante de service peut remplir plusieurs services à la fois qui peuvent être intéressants pour l'agriculteur. De même, certaines caractéristiques de l'exploitation, comme la présence d'élevage, peuvent influencer sur le choix de telle ou telle plante de service.

VI. Conclusions et perspectives

L'application SIMSERV constitue une avancée originale et porteuse dans le cadre des travaux de recherche menés en agro-écologie, et représente une innovation pour les systèmes de cultures multi-espèces conduits en intensification écologique. En effet, la mise en réseau d'une telle application permettra de centraliser et de capitaliser la connaissance mais aussi de mobiliser la recherche dans ce domaine. L'acquisition de connaissances sera d'autant plus rapide que l'application sera accessible à plusieurs équipes de recherche sur la thématique des plantes de service. Chaque équipe contribuera donc à améliorer l'outil qui, comme tout système expert, a besoin de stocker une quantité importante de savoir expert pour être performant.

De plus, ce type d'outil permet de rendre plus accessible le savoir dans un domaine précis, en l'occurrence les plantes de service. Ainsi, les premiers concernés par ces innovations, à savoir les conseillers techniques et les agriculteurs, pourront avoir directement accès à ces connaissances. A long terme, l'outil pourrait être aménagé pour une utilisation par des conseillers techniques même si pour le moment, il répond plutôt à des préoccupations de chercheurs. Il serait aussi intéressant de créer une galerie des plantes de service avec des fiches contenant des photos et des explications pour chaque plante, plus attrayantes que la base de données elle-même. Ceci contribuerait à rendre l'application plus conviviale et les connaissances sur les plantes de service plus accessibles.

Par ailleurs, l'outil ne permet de sélectionner qu'une seule plante de service pour un service donné. Il peut ainsi être vu comme une maille élémentaire d'un modèle plus complet qui permettrait de sélectionner une association d'associations, c'est-à-dire une association de plantes de service ou une association de services.

Enfin, comme toute innovation, le concept de plantes de service peut présenter certaines limites. En effet, la sélection de plantes de service pour un contexte donné peut renvoyer toujours au même résultat de part le peu de plantes répertoriées. Ceci pourrait entraîner des problèmes à long terme en générant des répétitions de la même culture dans le paysage. Cependant, même si l'association culturelle avec des plantes de service reste encore marginale dans la zone intertropicale, il est intéressant de penser aux conséquences néfastes que peuvent avoir ces innovations afin de les anticiper et des les minimiser. D'où l'importance d'enrichir les connaissances pour pouvoir encourager ce type de pratiques sur les bases scientifiques les plus robustes possibles.

VII. Bibliographie

Rapports

- **Bohanec M.** (Juin 2008) *DEXi: program for multi-attribute decision making, user's manual version 3.00*, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija, 56p.
- **CIRAD Le Bouchu, Vieux-Habitants** (Juin 2006). *Prospection de plantes de couverture en vergers : fiches de synthèse bibliographique d'essences végétales potentielles*. 56p.
- **Damour G.** (Sept. 2004) *Analyse et modélisation des interactions pour l'eau et bilan de services dans une association banane-canavalia*. UR ASTRO, INRA Antilles Guyane, 24p.
- **Georges E.** (Dec.2008) *La culture de l'igname en Guadeloupe : Analyse exploratoire du fonctionnement des jardins créoles et conception de systèmes de culture innovants à base d'associations avec des plantes de service*. UR ASTRO, INRA Antilles Guyane, 118p.
- **Grabisch M. et al.** (Mars 2002) *L'agrégation multicritère*. 37p.
- **Jallas E., Cretenet M.,** (Mai 2002) *Aide à la décision en agriculture et gestion des ressources naturelles*, Actes du colloque, 8p., 27-31, Garoua, Cameroun.
- **Ozier-Lafontaine H., De Barros I., al.** (Juin 2009) *SIMSERV a computer based decision support system for the choice of duty plants in agro-ecologic cropping systems*. INRA Antilles Guyane, UR ASTRO.
- **Richard D.** (Janv. 2002) *Rapport bibliographique sur la banane et la gestion de l'incidence des nématodes par les pratiques culturales*. INRA UR APC, 11p.
- **Séguy L., Guillaume P.** (Mai 2008) *Rapport de mission en Guadeloupe*. CIRAD. 204p.
- **Silva L. M. S.** (2002) *O plantio associado entre banana e feijão-de-porco : uma avaliação agrônômica dos efeitos da competição por água, nitrogênio e energia luminosa*. Universidade federal do Pará, centro agropecuário, 144p.
- **Tournebize R.** (2000) *Liste bibliographique sur la recherche sur les nématodes*. 17p.
- **Tournebize R.** (Sept. 2008) *Fiches de synthèse bibliographique de quelques plantes de services potentielles des tropiques*. INRA Antilles Guyane, UR ASTRO, 20p.

Revues

- **Adediran J.A. et al.** (Oct. 2005) *Evaluation of fallow and cover crops for nematode suppression in three agroecologies of south western Nigeria*. African Journal of Biotechnology, vol.4, 10, pp. 1034-1039.
- **Ben Mena S.** (2000) *Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision*. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., vol.4, 2, pp.83-93.
- **Da Silva J.A.A. et al.** (Avr. 2002) *Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja-pêra*. Rev; Bras. Fructi. Jaboticabal. SP, v.24, n.1, p.225-230.
- **Furlanetto C. et al.** (Nov.-Dec. 2008) *Reação de adubos verdes de verão ao nematode Tubixaba tuxaua*. Tropical Plant Pathology, vol.33, 6, 403-408.

- **Garrido M. dS. et al.** (Juin-Sept. 2008) *Management of crotalaria and pigeon pea for control of yam nematode diseases*. Summa phytopathol, vol.34, no.3 Botucatu, 12p.
- **Malézieux E. et al.** (Nov. 2007) *Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models*. Agron. Sustain. Dev. 28 (2008), 20p.
- **Perin A. et al.** (Janv. 2004) *Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado*. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, vol.39, n.1, p.35-40.
- **Quénéhervé P. ,Bertinet Y. ,Chabrier C.** (Juin 2002) *Arachis pintoi : une plante de couverture pour les bananeraies ? Avantages et inconvénient d'un point de vue nématologique*. INFOMUSA, vol.11, no.1, p.28-30.
- **Wang K-H et al.** (2002) *Crotalaria as a cover crop for nematode management: a review*. Nematropica, vol.32, n.1.

Livres

- **Degras L.** (1986) *L'igname, techniques agricoles et production tropicale*, Editions G-P. Maisonneuve et Larose et A.C.C.T., 118p.
- **Dumont R., Marti A.** (1997) *Les bibliographies du CIRAD, Panorama sur l'igname : Ressource millénaire et culture d'avenir*. CIRAD-CA, 187p.
- **Lassoudière A.** (2007) *Le bananier et sa culture*, édition QUAE, 382p.

Sites internet

- **Alliot J-M.** *Techniques d'optimisation stochastique appliquées à certains problèmes du trafic aérien*, <http://www.recherche.enac.fr/opti/papers/thesis/HABIT/index.html> [en ligne] consulté le 11/06/2010.
- **Bakwaba**, *Les bananes*, http://bakwaba.perso.neuf.fr/la_banane.html [en ligne] consulté le 14/06/2010.
- **College of Tropical Agriculture and Human Resources**, *Sustainable and Organic Agriculture Program*. <http://www.ctahr.hawaii.edu/sustainag/> [en ligne] consulté le 27/08/2010.
- **Delmotte P.**, *Horticulture, Entreprise de parcs & jardins et Fleuristerie de l'Athénée Provincial Warocqué de Morlanwelz-Mariemont-Chapelle*, Août 2006. <http://hortidactique.11vm-serv.net> [en ligne] consulté le 27/08/2010.
- **Denis F. et al.**, *Apprentissage à partir d'exemples, Notes de cours* <http://www.grappa.univ-lille3.fr/polys/apprentissage/> [en ligne] consulté le 11/06/2010
- **Duval J.**, agr., M. Sc. *Ecological Agriculture Projects*, Mc Gill University. Janvier 1993. <http://eap.mcgill.ca/agrobio/ab360-04.htm> [en ligne] consulté le 7/06/2010.
- **G.ntic**, *Qu'est-ce qu'un système expert?* <http://gautier.ntic.fr/qu-est-ce-qu-un-systeme-expert-.htm> [en ligne] consulté le 11/06/2010.
- **Gautier R., Mauric N.**, *Jardin ! L'Encyclopédie*. Février 2000. <http://nature.jardin.free.fr> [en ligne] consulté le 27/08/2010.
- **Humbert F. et al.**, *Les algorithmes génétiques*, Août 2005 <http://khayyam.developpez.com/articles/algo/genetic/> [en ligne] consulté le 11/06/2010.

- **INFO COMM** *Information de marché dans le secteur des produits de base* <http://www.unctad.org/infocomm/francais/indexfr.htm> [en ligne] consulté le 14/06/2010.
- **Lescieux M.** *Introduction à la logique floue.* <http://auto.polytech.univ-tours.fr> [en ligne], consulté le 08/06/2010.
- **Lespinay J-P.,** *Articles en ligne, le système expert.* <http://www.articlesenligne.com/article1240.html> [en ligne] consulté le 10/06/2010.
- **Ministère de l'Agriculture malgache,** *Filière technique : Le bananier,* <http://www.maep.gov.mg/filtechbanane.htm> [en ligne] consulté le 14/06/2010.
- **Programme Régional de Protection des Végétaux, AdvenRun :** *Principales mauvaises herbes de La Réunion.* <http://www.prpv.org/advenrun/especes/> [en ligne] consulté le 27/08/2010.
- **Protabase,** *Access to webdatabase on useful plants of Tropical Africa.* <http://database.prota.org> [en ligne] consulté le 27/08/2010.
- **Purdue University,** *Center for New Crop & Plant Products.* <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/> [en ligne] consulté le 27/08/2010.
- **Tropical Forages.** <http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html> [en ligne] consulté le 27/08/2010.
- **Valdes J.,** *Les systèmes experts en détail,* <http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2004/jvaldes/index.html> [en ligne] consulté le 11/06/2010.

VIII. Annexes

ANNEXE 1 : EXEMPLES DE SERVICES

ANNEXE 2 : EXEMPLES DE PLANTES DE SERVICE

ANNEXE 3 : LES ALGORITHMES GENETIQUES

ANNEXE 4 : LES RESEAUX DE NEURONES

ANNEXE 5 : LA LOGIQUE FLOUE

ANNEXE 6 : LA METHODE MULTICRITERE

ANNEXE 7 : PLANTES DE SERVICE REPERTORIEES DANS LA BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE 8 : SOUS-ARBRES DE DECISION

ANNEXE 9 : RESUME DES ENQUETES AUPRES D'EXPERTS

ANNEXE 10 : LISTE DES INDICATEURS PAR CATEGORIE

ANNEXE 11 : TESTS DE SCENARIOS, VARIATION DE LA CULTURE DE RENTE

ANNEXE 12 : TESTS DE SCENARIOS, VARIATION DE LA PARCELLE

ANNEXE 1 : EXEMPLES DE SERVICES

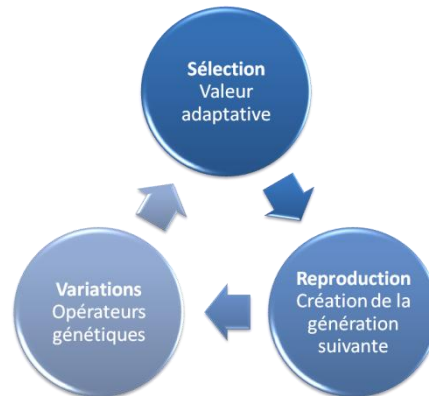
Services	
Sol	Couvert végétal
	Lutte contre l'érosion
	Engrais vert/ Amélioration de la fertilité
	Amélioration de l'infiltration
	Séquestration de C
Maladies/Ravageurs	Champignons
	Bactéries
	Virus
	Insectes
	Nématodes
Adventices	Adventices
Amélioration culture principale	Augmentation du rendement, de la qualité, de la croissance
	Tuteur
Valorisation animale	Fourrage
	Pâturage
	Fauche, taille rase
Biodiversité	Augmentation de la biodiversité / Régulation biologique
Esthétisme	Amélioration du visu de la parcelle

ANNEXE 2 : EXEMPLES DE PLANTES DE SERVICE

Famille	Nom	Autoécologie*	Services	Remarques	Source et références
Légumineuses	Cajanus cajan (Pois d'Angole)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 530-4030 mm ✓ Semi pérenne 1 à 3 ans ✓ Tolérant ✓ Graines ✓ Croissance lente ✓ 0.8-2 m arbustif 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Remontée d'éléments profonds ✓ Suppression d'adventices par allélopathie (lessivats foliaire aux propriétés antigerminatives) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fourrage et alimentation humaine 	Expérimentation URAPC (igname 2008)
	Canavalia Ensiformis (Canavalia)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 640-2500 mm ✓ 9 mois ✓ Bonne tolérance ✓ Graines ✓ Croissance lente à moyenne ✓ 0.6-2 m, arbustif 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fourniture d'azote forte ✓ Diminution d'adventices par ombrage ✓ Régulateurs nématodes, insectes 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fourrage et alimentation humaine possible 	Expérimentations URAPC (bananier et igname) et CIRAD (bananier)
	Crotalaria spectabilis (Crotalaire)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 900-2800 mm ✓ 5 mois ✓ Moyennement tolérant ✓ Graines ✓ Croissance lente ✓ 0.6-1.5 m érigé 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Suppressif pour l'ensemble des nématodes 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Graines toxiques 	Expérimentations INRA, UAG et CIRAD (bananier)
	Macroptilium artropurpureum (Siratro)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 380-2000 mm ✓ Pérenne ✓ Tolérant ✓ Graines et boutures ✓ Croissance lente ✓ 0.2-0.4 m lianescent 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fourniture d'azote modéré ✓ Diminution des nématodes de type Meloïdogyne 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fourrage 	Expérimentations CIRAD-PFI et URAPC (agrumes)
Poacées	Sorghum bicolor (Sorgho)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 800-2200 mm ✓ 9 mois ✓ Faible tolérance ✓ Graines ✓ Croissance lente ✓ 1.5 - 3 m érigé 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Forte croissance ✓ Mobilisation d'éléments profonds ✓ Dépressif sur Meloïdogyne 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fourrage 	Expérimentations CIRAD et URAPC (bananier)
	Brachiaria Decumbens (Brachiaria)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 800-2500 mm ✓ Pérenne ✓ Faible tolérance ✓ Graines ou éclats ✓ Croissance lente à moyenne ✓ 0.4-0.8 m herbacée 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Couverture forte du sol ✓ bande de roulement pour machines agricoles ✓ Suppressif de nématodes (notamment Meloïdogyne) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fourrage ✓ Très compétitif 	Expérimentations CIRAD et URAPC (bananier)

Généralités

- Algorithme d'optimisation basé sur la théorie de l'évolution des espèces
- 1^{ers} travaux : 1975 par J. Holland
- Applications :
 - Optimisation d'emploi du temps, de réseaux de transports
 - Traitements d'images,
 - Contrôle de systèmes industriels,...



Les 5 éléments clés

Codage de l'élément de population

- Associe à chaque point une structure de données
- Qualité du codage conditionne le succès de l'algorithme génétique
- Codage binaire (à l'origine) ou réel

Mécanisme de génération de la population initiale

- Produire une population d'individus non homogènes
- Choix de la population initiale détermine le temps de convergence vers l'optimum

Opérateurs

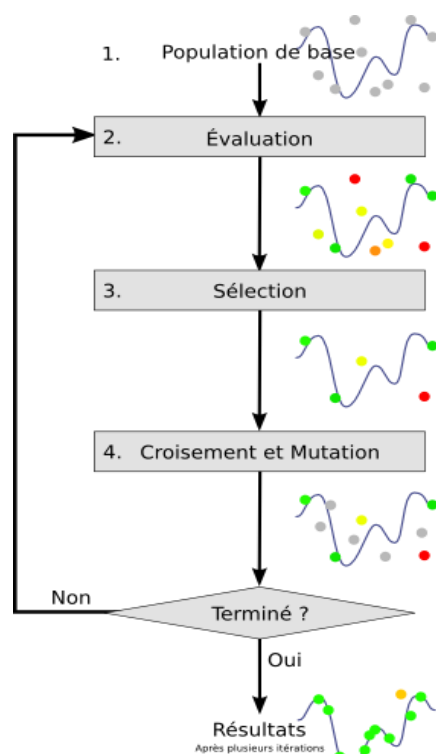
- Pour diversifier la population
- De croisement, de mutations

Fonction d'évaluation ou de fitness

- Mesure le degré d'adaptation d'un individu à son environnement
- Sélection des individus en fonction de leur degré d'adaptation

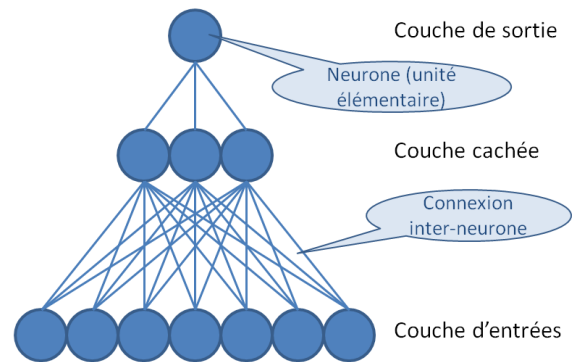
Paramètres de dimensionnement

- Taille de la population, nombre de générations, critères d'arrêt, probabilité d'application des opérateurs,...

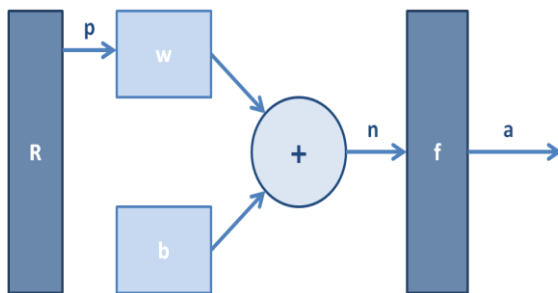


Généralités

- Analogie avec le système nerveux
- Développer il y a 50 ans
- Basé sur l'apprentissage (supervisé, séquentiel, par paquet,...)
- Applications :
 - **Aérospatial** : pilotage automatique, simulation vol,...
 - **Automobile** : guidage automatique,...
 - **Défense** : guidage de missile, radar, sonar,...
 - **Electronique** : synthétiseur vocal,...
 - **Médical** : analyse EEG et ECG, ...



L'unité élémentaire du réseau de neurones



- **f** = fonction de transfert (sigmoïde, gaussienne, identité, linéaire seuillée, pas unitaire)
- **R** = nombre d'éléments dans le vecteur d'entrée
- **b** = biais ; **w** = poids ; **p** = entrée ; **a** = sortie
- **n** = $(\sum w \cdot p) + b$; **a** = $f(n)$

Généralités

- Raisonnement « humain » basé sur des données imprécises
- Naissance en 1965 avec le Pr. Zadeh
- 1970 : 1ères applications aux systèmes experts
- Applications :
 - Automatisation, instrumentation
 - Conception, traitement d'informations
 - Métros (Japon)
 - Machines à laver « intelligentes »,...

Principes

Fuzzification

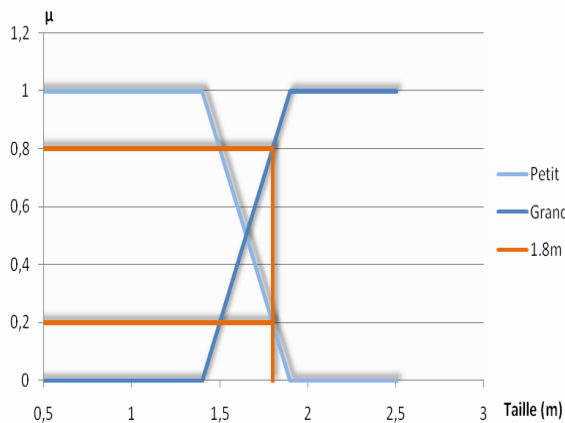
- Transformation des entrées en grandeur floues

Inférence ou base de règles

- De type si...alors
- Détermine les variables de sortie floues en fonction des entrées fuzzifiées

Defuzzification

- Transformation d'une information floue en grandeur physique
- 4 méthodes :
 - Maximum
 - Moyenne des maximums
 - Centre de gravité (COG)
 - Somme pondérée



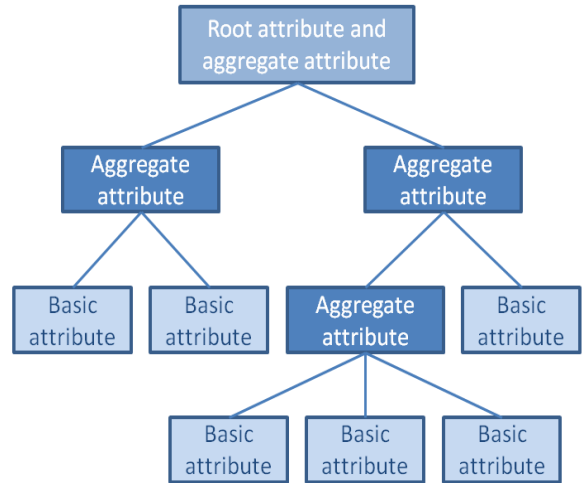
Fonction d'appartenance μ

- **Fonction d'appartenance** généralement appelée μ décrit le degré avec lequel un élément appartient à un sous ensemble
- Exemple :
 - **Variable linguistique** : Taille
 - **Valeur linguistique** : Petit/Grand
 - pour 1,8 m :
 - $\mu_{\text{petit}}(1,8) = 0,2$
 - $\mu_{\text{grand}}(1,8) = 0,8$
 (petit à 20% et grand à 80%)

Généralités

- Division d'un problème de décision en sous-problème moins complexes
- 1990, Vansnick introduit la terminologie de formulation multicritère d'un problème de décision
- Développement de DEXi débute en 1999 (successeur de DEX)
- Applications :
 - *Technologies de l'information*: Evaluation de logiciels, d'ordinateurs,...
 - *Entreprises* : évaluation des performances d'entreprises, sélection de partenaires pour les affaires,...
 - *Médecine et santé* : évaluation des risques, diagnostics,...
 - Evaluation en agronomie, écologie et environnement,...

Arbre des attributs



Exemple de fonction d'utilité

Basic attribute 1	Basic attribute 2	Aggregate attribute
High	Bad	Unacceptable
High	Good	Unacceptable
High	Excellent	Good
Medium	Bad	Unacceptable
Medium	Good	Good
Medium	Excellent	Excellent
Low	Bad	Unacceptable
Low	Good	Good
Low	Excellent	Excellent

Éléments principaux

- **critères** ou **attributs** : variables qualitatives composant les différents sous-problèmes
- **échelles de valeurs**, ordonnées ou non : plage de valeurs possibles pouvant être prises par les attributs
- **arbre des attributs** : structure hiérarchique présentant la décomposition du problème de décision
- **fonctions d'utilité** ou **règles de décision** : règles définissant les agrégations des attributs depuis le bas jusqu'au sommet de l'arbre des attributs

ANNEXE 7 : PLANTES DE SERVICE REPERTORIEES DANS LA BIBLIOGRAPHIE

Poacées		
Plante	Services rendus	Notes sur les services
<i>Axonopus compressus</i>	➤ Couvert végétal, érosion	
<i>Brachiaria humidicola</i>	➤ Couvert végétal, érosion ➤ Lutte contre les adventices ➤ Pouvoir désintoxiquant (toxicité Al)	➤ Difficile à associer avec d'autres couverts ➤ Mécanisation possible
<i>Brachiaria decumbens</i>	➤ Stockage de carbone ➤ Couvert végétal, érosion ➤ Amélioration de l'infiltration ➤ Amélioration de la fertilité ➤ Pouvoir désintoxiquant toxicité Al) ➤ Plante nématoregulatrice	➤ Plante agressive (la moins des <i>Brachiaria</i>) ➤ Nécessite apports fréquents d'N si pâturage à fort rendement ➤ Nématodes : <i>Meloidogyne</i> sp., <i>Radopholus similis</i> (R. similis), <i>Pratylenchus</i> sp., <i>Helicotylenchus</i> sp.
<i>Brachiaria ruziziensis</i>	➤ Pouvoir désintoxiquant (toxicité Al) ➤ Couvert végétal, érosion	
<i>Chloris gayana</i>	➤ Plante nématoregulatrice	
<i>Cynodon dactylon</i>	➤ Couvert végétal, érosion	
<i>Dichanthium annulatum</i>	➤ Couvert végétal	
<i>Dichanthium aristatum</i>	➤ Couvert végétal	
<i>Digitaria decumbens</i>	➤ Lutte contre les adventices ➤ Couvert végétal, érosion ➤ Plante nématoregulatrice	
<i>Echinochloa colona</i>	➤ Couvert végétal	
<i>Eleusine indica</i>	➤ Couvert végétal, érosion ➤ Capacité à mobiliser de la fertilité	➤ Fixation N dans rhizosphère (non-symbiotique), fixation P soluble par endomycorhization
<i>Eleusine coracana</i>	➤ Restructuration du sol ➤ Couvert végétal, érosion ➤ Capacité à mobiliser de la fertilité	➤ Fixation N dans rhizosphère (non-symbiotique), fixation P soluble par endomycorhization
<i>Panicum maximum</i>	➤ Plante nématoregulatrice	
<i>Paspalum notatum</i>	➤ Lutte contre les adventices ➤ Nématoregulatrice (plante non-hôte)	➤ Contre les adventices : une fois le couvert installé ➤ Nématodes : <i>Meloidogyne arenaria</i> , <i>M.incognita</i> , <i>Heterodera glycines</i>
<i>Pennisetum americanum</i>	➤ Engrais vert	➤ Enrichissement en K
<i>Pennisetum purpureum</i>	➤ Couvert végétal, contre l'érosion. ➤ Lutte contre les adventices	➤ Plante pérenne, vigoureuse, robuste, système racinaire puissant ➤ Contre les adventices : une fois établie
<i>Sorghum</i>	➤ Lutte contre adventices ➤ Pouvoir désintoxiquant contre Sulfentrazone en association avec Crotalaires	➤ Contre les adventices : <i>Cyperus rotundus</i>
<i>Stenotaphrum secundatum</i>	➤ Lutte contre l'érosion	➤ Colonisation rapide
<i>Tripsacum laxum</i>	➤ Couvert végétal, érosion	
<i>Zea mays</i>	➤ Production valorisable ➤ Tuteur ➤ Plante nématoregulatrice	➤ Production de maïs grain ➤ Tuteur pour la culture de l'igname ➤ Nématodes : <i>Tubixaba tuxana</i> (T. tuxana)

Fabacées

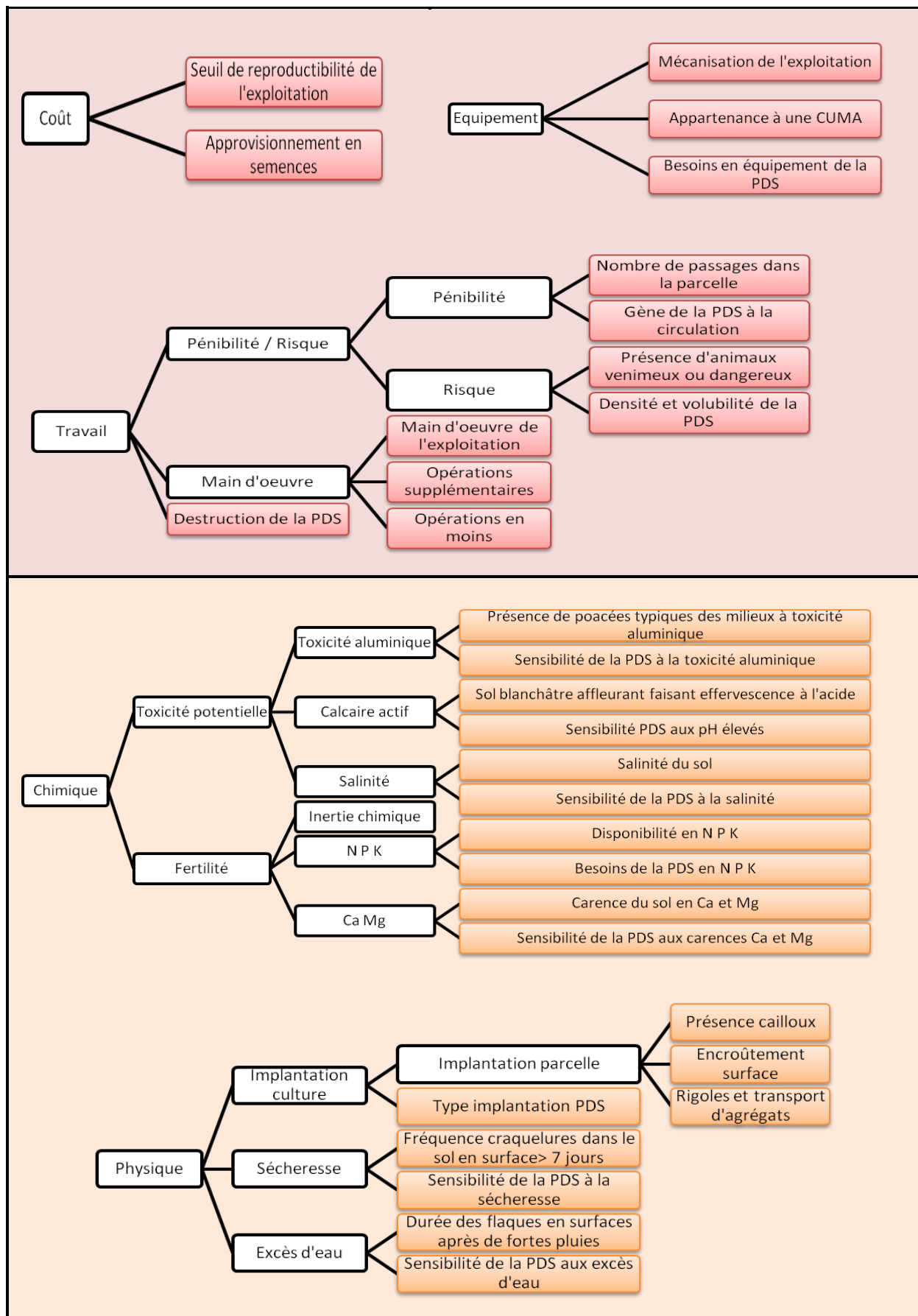
Plante	Services rendus	Notes sur les services
<i>Aeschynomene americana</i>	➤ Couvert végétal	
<i>Alysicarpus vaginalis</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion	
<i>Arachis pintoi</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Légumineuse	➤ Bonne association avec les graminées rampantes à caractère agressifs ➤ Forte persistance
<i>Cajanus cajan</i> (pois d'Angole)	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Tuteur ➤ Légumineuse ➤ Recyclage d'éléments profonds ➤ Plante nématoregulatrice	➤ Système racinaire profond, possibilité de remonter des éléments ➤ Tuteur pour l'igname ➤ Enrichissement en N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, B ➤ Nématodes : <i>Scutellonema bradys</i> (<i>S. bradys</i>), <i>Rotylenchulus reniformis</i> (<i>R. reniformis</i>)
<i>Calopogonium caeruleum</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion	
<i>Calopogonium mucunoides</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Lutte contre les adventices	➤ Couvert vigoureux, grimpant et volubile ➤ Excellente association avec les graminées
<i>Canavalia ensiformis</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Lutte contre les adventices ➤ Légumineuse, engrais vert ➤ Plante nématoregulatrice ➤ Lutte contre la fourmi manioc ➤ Augmentation de la biodiversité	➤ Association avec la banane ➤ Importante capacité de stockage de N, incorporation de P, K, Ca, Mg, S, Fe, B ➤ Nématodes : <i>Meloidogyne</i> sp., <i>R. reniformis</i> , <i>T. tuxana</i> , <i>Nacobbus aberrans</i> ➤ Faible coût de production
<i>Canavalia rosea</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Plante nématoregulatrice	➤ Nématodes : <i>Meloidogyne</i> sp., <i>R. reniformis</i>
<i>Crotalaria</i> spp.	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Lutte contre les adventices ➤ Engrais vert, légumineuse ➤ Plante nématoregulatrice ➤ Pouvoir désintoxiquant (Sulfentrazone en association avec Sorgho)	➤ Vert même en saison sèche, enracinement pivotant et profond, croissance rapide ➤ Fixation N et enrichissement en autres éléments ➤ Nématodes : <i>Meloidogyne</i> sp., <i>R. reniformis</i> , <i>R. similis</i> , <i>Belonolaimus longicaudatus</i> , <i>Heterodera glycines</i> .
<i>Crotalaria juncea</i>	➤ Légumineuse, engrais vert ➤ Augmentation du poids du régime ➤ Pouvoir désintoxiquant contre Sulfentrazone en association avec Sorgho ➤ Plante nématoregulatrice	➤ Fixation N et enrichissement en Ca, P et Mg, aussi en K, S, Fe et B ➤ Association avec banane ➤ <i>R. similis</i> , <i>Meloidogyne</i> sp., <i>S. bradys</i> , <i>R. reniformis</i> , <i>T. tuxana</i> , <i>Helicotylenchus multicinctus</i> , <i>Hoplolaimus indicus</i>
<i>Crotalaria longirostrata</i>	➤ Légumineuse, engrais vert ➤ Pouvoir désintoxiquant (Sulfentrazone en association avec Sorgho) ➤ Propriétés nématocides	➤ Nématodes : <i>Meloidogyne incognita</i> , <i>M. arenaria</i> , <i>M. spp. larvae</i>
<i>Crotalaria mucronata</i>	➤ Pouvoir désintoxiquant (Sulfentrazone en association avec Sorgho) ➤ Engrais vert, légumineuse	
<i>Crotalaria paulinea</i>	➤ Engrais vert, légumineuse ➤ Pouvoir désintoxiquant (Sulfentrazone en association avec Sorgho) ➤ Plante nématoregulatrice	➤ Nématodes : <i>R. similis</i> , <i>M. incognita</i> , <i>M. javanica</i>
<i>Crotalaria spectabilis</i>	➤ Plante nématoregulatrice ➤ Pouvoir désintoxiquant (Sulfentrazone en association avec Sorgho) ➤ Engrais vert	➤ Nématodes : <i>R. similis</i> , <i>Meloidogyne</i> sp. ➤ Incorporation de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, B
<i>Crotalaria retusa</i>	➤ Engrais vert, légumineuse ➤ Pouvoir désintoxiquant (Sulfentrazone en association avec Sorgho) ➤ Nématoregulatrice	➤ Nématodes : <i>Meloidogyne incognita</i> , <i>M. javanica</i>

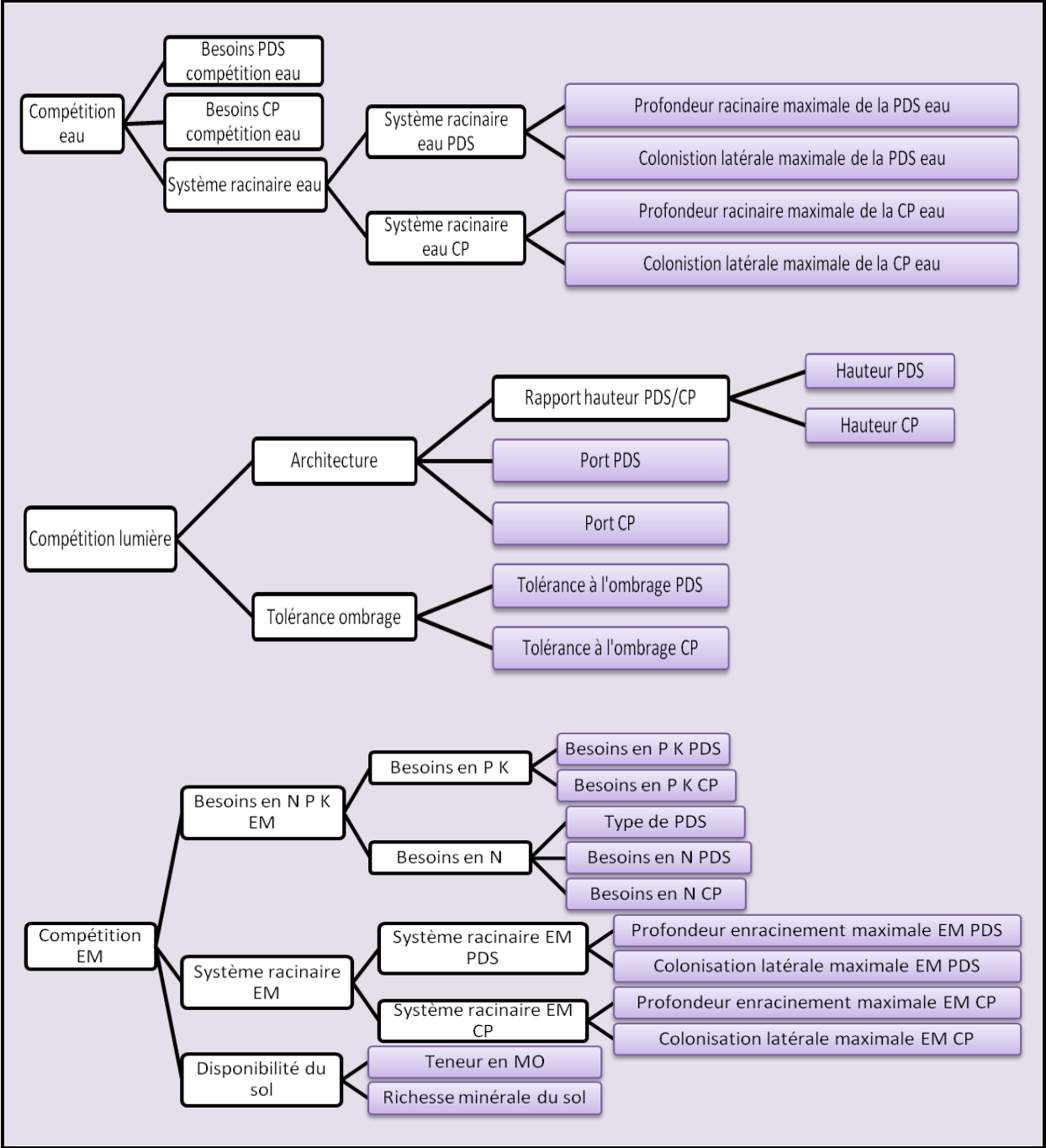
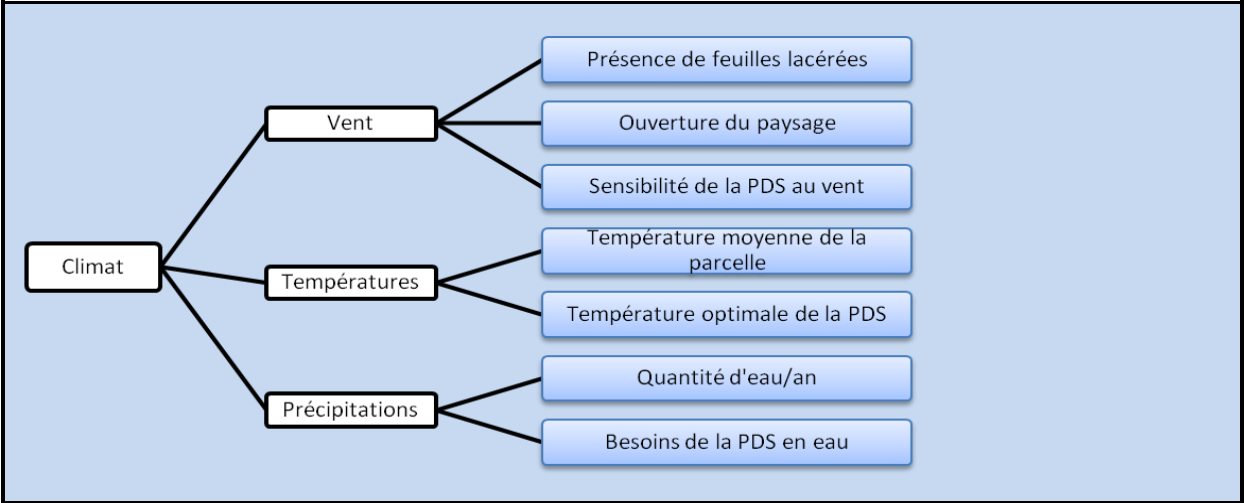
<i>Desmodium axillare</i>	➤ Couvert végétal	➤ Espèce stolonifère
<i>Desmodium procumbens</i>	➤ Couvert végétal	➤ Herbe à tiges grêles étalées, plante rudérale
<i>Desmodium scorpiurus</i>	➤ Couvert végétal	➤ Herbe +/- grimpante, plante rudérale
<i>Desmodium tortuosum</i>	➤ Couvert végétal	➤ Installation rapide, plante vigoureuse
<i>Desmodium triflorum</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion	
<i>Digitaria decumbens</i>	➤ Couverture végétale	
<i>Dolichas lablab</i>	➤ Engrais vert	➤ Incorporation de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, B
<i>Gliricidia sepium</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion	➤ Fourrage de qualité
<i>Indigofera spicata</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Propriétés nématocides	➤ Toxicité des graines pour bétail et humains ➤ Plante ubiquiste
<i>Lablab purpureus</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Apport d'N, engrais vert	➤ Système racinaire pivotant
<i>Leucaena leucocephala</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Fixation d'N dans le sol ➤ Nématorégulatrice	➤ Système pivotant ➤ Fixation jusqu'à 200 kg N/ha ➤ Nématodes : <i>Meloidogyne incognita</i>
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Contrôle des nématodes ➤ Lutte contre les adventices	➤ Couvert à enracinement profond mais volubile ➤ Nématodes : <i>Meloidogyne incognita</i> , <i>M. javanica</i> ➤ Adventices : à partir d'un certain stade
<i>Medicago sativa</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Lutte contre les adventices	➤ Couvert à enracinement profond ➤ Adventices : Temps conséquent nécessaire
<i>Mucuna aterrima</i>	➤ Engrais vert ➤ Plante nématoregulatrice	➤ Incorporation de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, B ➤ <i>Meloidogyne sp.</i> , <i>R. reniformis</i> , <i>T. tuxana</i>
<i>Mucuna deeringiana</i>	➤ Engrais vert ➤ Plante nématoregulatrice	➤ Incorporation de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, B ➤ Nématodes : <i>Meloidogyne sp.</i> , <i>R. reniformis</i> , <i>T. tuxana</i> , <i>Nacobbus aberrans</i> , <i>Heterodera glycines</i>
<i>Mucuna pruriens</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Lutte contre les adventices ➤ Plante nématoregulatrice	➤ Plante rampante ➤ Adventices : une fois établi, long à s'installer ➤ Nématodes : <i>Meloidogyne sp.</i> , <i>R. reniformis</i>
<i>Mucuna utilis</i>	➤ Plante nématoregulatrice	➤ <i>Meloidogyne sp.</i> , <i>Pratylenchus sp.</i> , <i>Helicotylenchus sp.</i>
<i>Neonotonia wightii</i>	➤ Lutte contre les adventices ➤ Résistance aux nématodes	➤ Adventices : une fois installé, temps de colonisation et d'établissement long ➤ Nématodes : <i>M. incognita</i> , <i>M. acrita</i> et <i>M. javani</i>
<i>Pueraria phaseoloides</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Lutte contre les adventices	➤ Installation lente ➤ Bonnes fabacées pour lutter contre adventices
<i>Rhynchosia reticulata</i>	➤ Couvert végétal	➤ Liane rampante
<i>Sesbania aculeata</i>	➤ Propriétés nématocides ➤ Amélioration rendement et qualité	➤ Nématodes : <i>H. multicinctus</i> ➤ Association avec cannes à sucre
<i>Stylosanthes guianensis</i> var. <i>guianensis</i>	➤ Couvert végétal ➤ Lutte contre les adventices. ➤ Engrais vert	➤ 1m de haut max., système racinaire pivotant ➤ Contre adventices : une fois établi ➤ Nodosités, fixation N
<i>Stylosanthes gracilis</i>	➤ Nématorégulatrice ➤ Pouvoir désintoxiquant (toxicité Al) ➤ Légumineuse	➤ Nématodes : <i>M. incognita</i> ➤ Fixation N symbiotique
<i>Stylosanthes hamata</i>	➤ Légumineuse ➤ Pouvoir désintoxiquant (toxicité Al) ➤ Couvert végétal ➤ Lutte contre les adventices (poacées)	➤ Jusqu'à 0,75 m de haut ➤ Fixation N symbiotique ➤ Installation dans le milieu aisée
<i>Tephrosia senna</i>	➤ Couvert végétal	
<i>Vicia hirsuta</i>	➤ Couvert végétal	
<i>Vigna unguiculata</i>	➤ Couvert végétal, lutte contre l'érosion ➤ Compétition avec les adventices ➤ Légumineuse (fourniture d'azote)	➤ Croissance rapide, colonise mal si terrain non préparé ➤ Adventices à croissance et hauteur modérées ➤ Rôle dans l'installation d'une bonne fertilité
<i>Zornia microphylla</i>	➤ Couvert végétal	

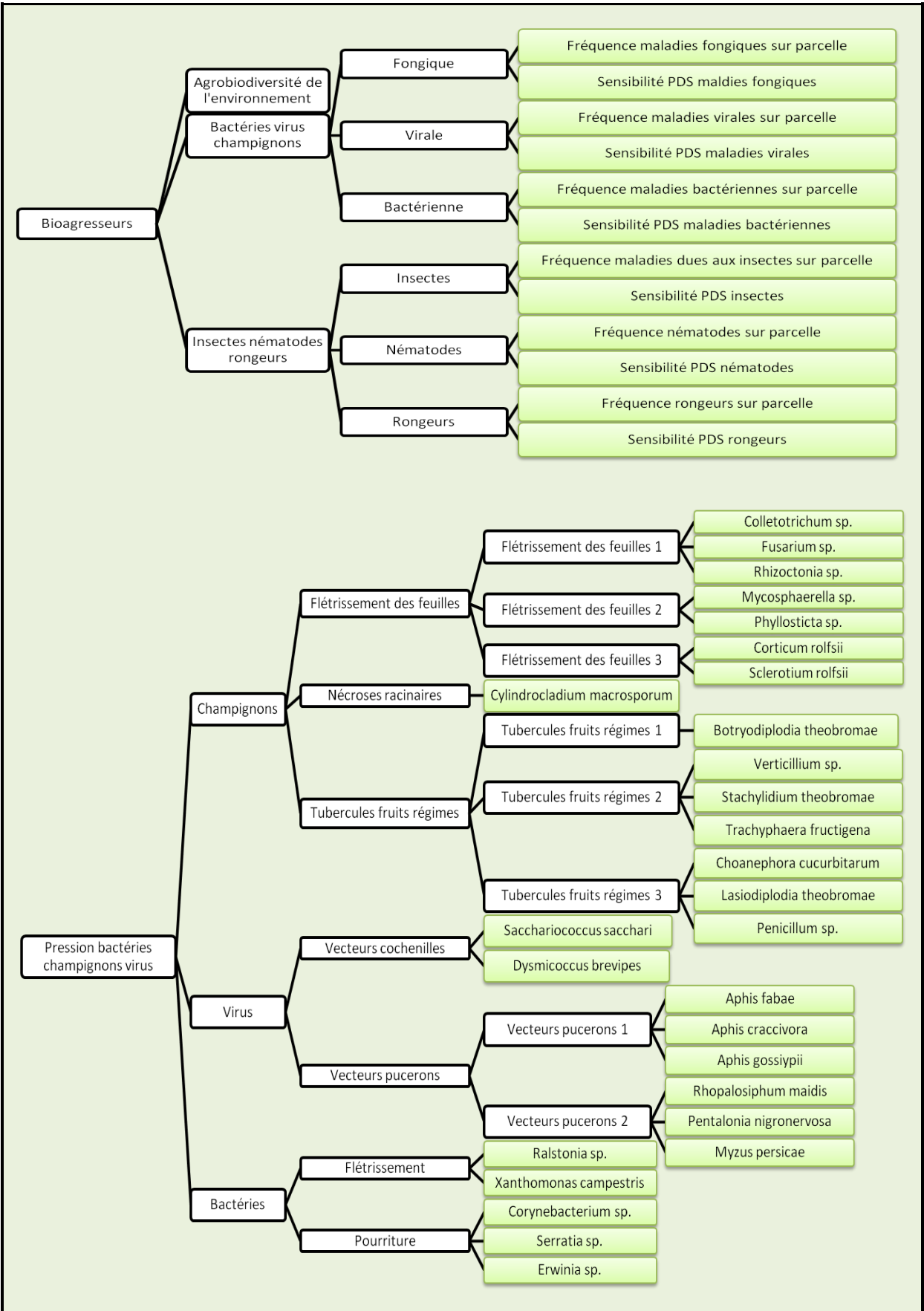
Autres familles

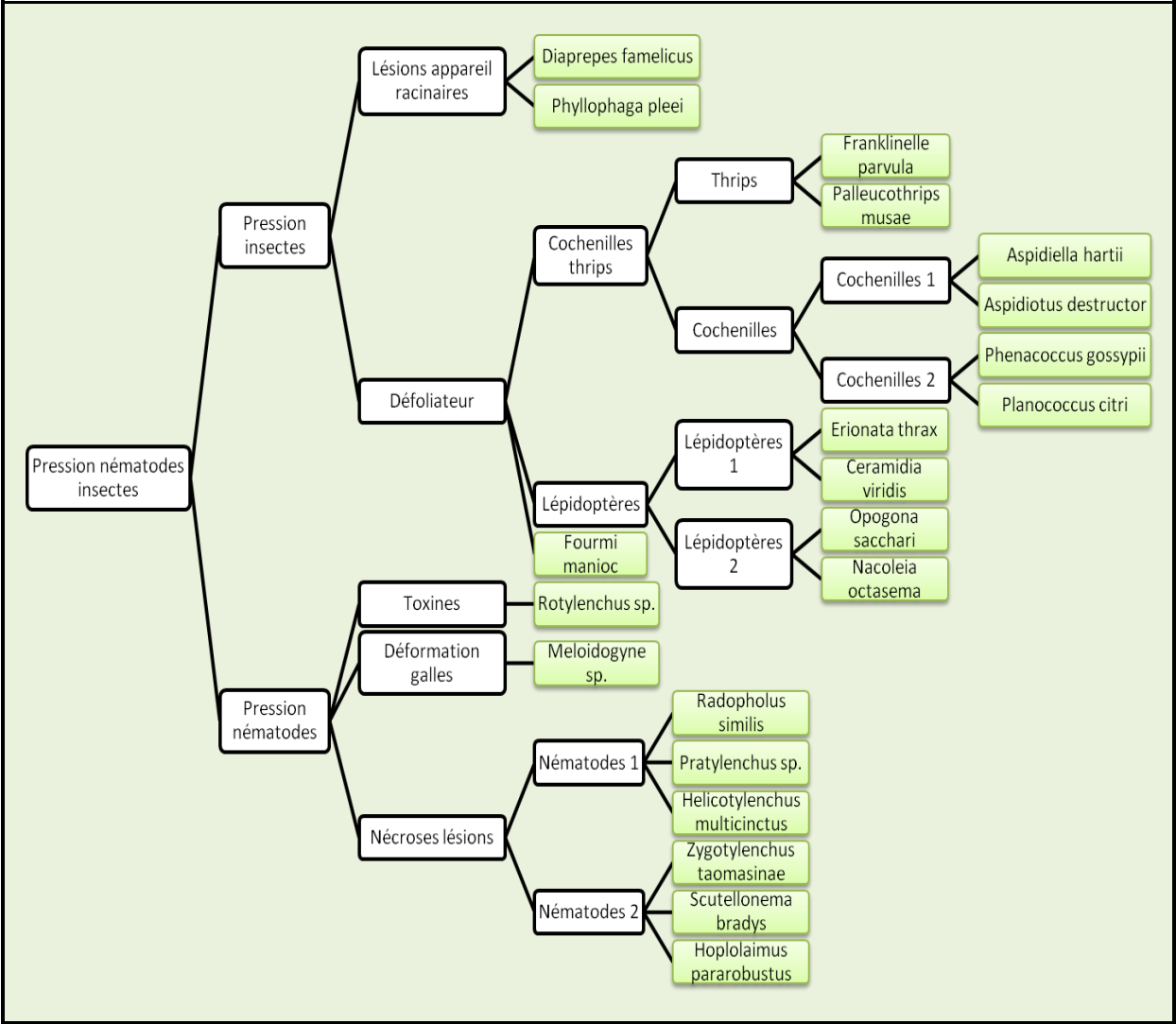
Famille	Plante	Services rendus	Notes sur les services
Caesalpiniciacées	Chamaecrista diphylla	➤ Couvert végétal	
	Chamaecrista obcordata	➤ Couvert végétal	
Astéracées	Chromolaena odorata	➤ Plante nématorégulatrice	➤ Meloidogyne sp., Pratylenchus sp., Helicotylenchus sp.
	Chrysanthemum coronarium	➤ Nématorégulatrice	➤ M. incognita, R. reniformis
	Tagetes spp.	➤ Plante nématorégulatrice	
	Tagetes erecta	➤ Amélioration rendement et qualité des cannes à sucre ➤ Plante nématorégulatrice	➤ M. incognita, M. arenaria, M. javanica, R. similis, Pratylenchus sp., Helicotylenchus sp., Heterodera schachtii, R. reniformis, Hoplolaimus indicus
	Tagetes lucida	➤ Plante nématorégulatrice	➤ M. incognita, Rotylenchulus reniformis, Tylenchorhynchus brassicae
	Tagetes minuta	➤ Plante nématorégulatrice	➤ Meloidogyne javanica
	Tagetes patula	➤ Plante nématorégulatrice	➤ Certaines Meloidogyne, certaines Pratylenchus, Rotylenchulus reniformis
	Tagetes tenuifolia	➤ Nématorégulatrice	➤ R. reniformis, Tylenchorhynchus brassicae
	Zinnia elegans	➤ Nématorégulatrice	➤ M. incognita, R. reniformis
Commelinacées	Commelina spp	➤ Couverture végétale	
Liliacées (Asparagacées)	Asparagus officinalis	➤ Nématorégulatrice	➤ M. incognita
	Asparagus racemosus	➤ Nématorégulatrice	➤ M. javanica
Convolvulacées	Ipomea batatas (➤ Nématorégulatrice	➤ Radopholus similis
Euphorbiacées	Manihot esculenta	➤ Propriétés nématocides ➤ Amélioration des paramètres de croissance	➤ Meloidogyne incognita
Rutacées	Ruta graveolens	➤ Nématorégulatrice	➤ M. arenaria, M. hapla, M. incognita, M. javanica
Apocynacées	Catharanthus roseus	➤ Nématorégulatrice	➤ Tylenchorhynchus vulgaris, R. reniformis
Pédaliacées	Sesamum indicum (indica)	➤ Nématorégulatrice	➤ R. similis, R. reniformis, M. incognita, Helicotylenchus multicinctus, Hoplolaimus indicus
Apiacées	Coriandrum sativum	➤ Nématorégulatrice	➤ R. similis, R. reniformis, M. incognita, Helicotylenchus multicinctus, Hoplolaimus indicus
Lythracées	Lawsonia inermis	➤ Nématorégulatrice	➤ Meloidogyne incognita
Amarantacées	Chenopodium ambrosioides	➤ Nématorégulatrice	➤ Meloidogyne javanica
Malvacées	Hibiscus esculentus	➤ Nématorégulatrice	➤ M. incognita, M. javanica
Méliacées	Azadirachta indica	➤ Nématorégulatrice	➤ M. incognita, R. reniformis
	Melia azedarach	➤ Nématorégulatrice	➤ M. incognita, R. reniformis
Solanacées	Datura metel	➤ Nématorégulatrice	➤ Meloidogyne javanica
	Datura stramonium	➤ Nématorégulatrice	➤ Meloidogyne javanica

ANNEXE 8 : SOUS-ARBRES DE DECISION









ANNEXE 9 : RESUME DES ENQUETES AUPRES D'EXPERTS

Date : 09/07/2010

Partie : Bioagresseurs / Pression bioagresseurs, Services : régulation bioagresseurs

Expert : Sébastien Guyader

Type indicateurs

Partie CES

- **Conditions environnementales de la parcelle / bioagresseurs :**
 - Répertorier les principaux bioagresseurs de la PDS et ceux présents dans la parcelle
 - Mettre une note de sensibilité pour chaque bioagresseurs par PDS (cette note permettra de moduler), note de sensibilité par rapport au rendement de la PDS si elle est affectée par le bioagresseur (appréciation)
 - Sensibilité différente selon que les bioagresseurs soient aériens, telluriques ou viraux :
 - ✓ Aériens : dispersés uniformément dans la parcelle
 - ✓ Tellurique : foyers, plus localisés, présence d'un inoculum tellurique
 - ✓ Virus : transmis par vecteurs, regarder la présence du vecteur dans la parcelle
 - Facteurs aggravants pour la parcelle : plante hôte autour de la parcelle, parcelle localisée dans une zone à risque, précédent
 - Prendre en compte les plantes sensibles, hôte et résistante (le même poids pour chaque catégorie)
 - Si bioagresseurs en commun : à éviter
- **Compatibilité culture /PDS :**
 - En rotation: pareil que précédemment, mais selon la persistance du bioagresseurs, remonter plus ou moins loin dans la rotation (précédent cultural ou avant précédent cultural)
 - En association : pareil que précédemment, et faire la même chose que les PDS mais pour la CP

Partie services

- **Régulation des bioagresseurs :**
 - Regarder seulement s'il y a un effet dans un premier temps, puis il faudra affiner avec des expérimentations (variable de type oui/non (booléenne))

Suggestions / Remarques

- Prendre en compte toutes les résistances pour augmenter la durabilité des résistances
- Pour la partie service, peut-être séparer les nématodes (mobilité) des autres bioagresseurs
- Effet barrière dépend de l'échelle de propagation des bioagresseurs

Date : 09/07/2010

Partie : *Physique, chimie et biologie du sol, compétition EM et eau, service : recyclage nutriments, fixation symbiotique, érosion, séquestration du C*

Expert : *Jorges Sierra*

Type indicateurs

Partie CES

- **Conditions environnementales de la parcelle / physique du sol :**
 - Structure du sol pour l'émergence et la croissance de la PDS, prendre le type de sol :
 - ✓ Vertisol
 - ✓ Ferralitique
 - ✓ Andosol
 - Tassement du sol
 - Fourniture en eau / Distribution en eau à comparer avec la profondeur racinaire de la PDS

- **Conditions environnementales de la parcelle / chimie du sol :**
 - pH :
 - ✓ pH environ 8 : problème de précipitation du Phosphore, donc déficience en phosphore et problème de précipitation du Fer
 - ✓ pH < 5 : toxicité aluminique
 - ✓ A comparer avec les gammes de pH ou les sensibilités (sols acides, alcalins) de la PDS
 - Niveau de nutrition :
 - ✓ Phosphore : beaucoup de légumineuses sensibles à la carence en phosphore, paramètre important à prendre en compte, variable : niveau de phosphore disponible dans la parcelle (faible, moyen, élevé), va dépendre du type de sol) et les besoins de la PDS en P (soit quantifiés soit qualitatifs)
 - ✓ Azote : important pour les légumineuses, dépend du type de sol, pour les vertisols <0.08% : faible, entre 0.1 et 0.15% : moyen, >0.15% : fort, pour les sols ferralitiques >0.1% : faible, 0.1 et 0.2% : moyen, >0.2% : fort.
 - ✓ Le reste Ca, Mg, K : simplement noter une carence, de type mauvais/bon. Mais attention, manque de Mg, problème pour la fixation par les légumineuses
 - Tolérance à la salinité : pas de problème en Guadeloupe avec ce paramètre car beaucoup de pluies

- **Conditions environnementales de la parcelle / biologie du sol :**
 - Prendre la présence de vers de terre, si présence alors bien
 - Taux de décomposition de la matière organique, normalement bien partout sauf si contamination des sols très importantes (mais normalement pas de problèmes)

- **Compatibilité culture / PDS / Compétition EM :**
 - Consommation de chaque élément N, P, K, Ca, Mg en kg/ha/an par exemple pour la PDS et pour la CP
 - A nuancer avec la profondeur racinaire (ou la densité racinaire, surtout pour les plantes annuelles) : si système racinaire très profond ou très dense alors moins pénaliser
 - A nuancer avec la nature de la PDS, si légumineuse avec fort besoin en N alors ne pas la pénaliser
 - Compétition pour les ressources dépend de la structure spatiale de l'association (écart entre les 2 plantes, si mauvaise note en compétition, réfléchir à une bonne implantation)

➤ **Compatibilité culture / PDS / Effet précédent :**

- Pas de facteurs majeurs sur l'effet précédent (pour climat non humide ou après PDS avec forte biomasse alors p-ê fourniture en eau, si pas de fertilisation, p-ê consommation en EM, si implanté sous couvert paillé, p-ê contraintes)

Partie services

➤ **Recyclage des nutriments :**

- Peu de recyclage pour les plantes annuelles plutôt pour les arbres ou plantes pérennes
- Profondeur racinaire ou densité racinaire

➤ **Fixation symbiotique :**

- Kg N₂ fixé par ha

➤ **Erosion :**

- Racines superficielles, densité racinaire
- Rapidité de couverture (temps pour atteindre la LAI maximale)
- Taux de litière en surface
- Biomasse
- Plutôt les graminées pour lutter contre l'érosion

➤ **Séquestration du C :**

- Biomasse de la plante
- Rapport C/N qui doit être faible
- Plutôt des légumineuses

Suggestions

- Pour l'expression du service recyclage des éléments minéraux, il faut qu'il y ait des éléments minéraux en profondeur, donc connaître la distribution des EM (No₃ et P)
- On peut considérer que la possibilité de rendre le service est déjà connu (le service sélectionné peut-être rendu a priori)
- Poids plus important pour la chimie du sol que pour la physique et la biologie, car pas de fertilisation pour une PDS
- Compétition pour les EM plus importante que celle pour l'eau (lumière à part)
- Compétition pour les ressources, prendre en compte la structure spatiale de l'association, si mauvaise note en compétition ressources, alors réfléchir à une bonne implantation.

Date : 13/07/2010

Partie : Bioagresseurs / Pression bioagresseurs

Expert : Claudie Pavis

Type indicateurs

Partie CES

➤ Pression bioagresseurs

- Liste des maladies principales sur les cultures de rente :

Banane :

- ✓ Charançon : insecte, attaque les parties souterraines (bulbe), spécifique bananier
- ✓ Thrips : différentes espèces, attaque les feuilles
- ✓ Larves de hanneton (genre *Phyllophaga*) : dans le sol, attaque les parties souterraines
- ✓ Hanneton adulte (genre *Phyllophaga*) : sur les feuilles
- ✓ Nématodes
- ✓ Cercosporiose (*Mycosphaerella*) jaune et noire : spécifique, maladie fongique
- ✓ BSV Banana streak badnavirus : virus

Igname :

- ✓ Anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) : maladie fongique, principalement sur *D. alata* (igname blanche)
- ✓ *Curvularia* : maladie fongique, partie aérienne, surtout sur *D. cayenensis*
- ✓ Fourmi manioc
- ✓ Nématodes
- ✓ Charançons

- Liste des principaux vecteurs de virus :

- ✓ Cochenilles
- ✓ Pucerons
- ✓ Aleurodes

- Mettre une note de sensibilité / nuisibilité par bioagresseur pour chaque PDS et CP :

- ✓ Majeur
- ✓ Moyenne
- ✓ Anecdotique

➤ Bioagresseurs

- Maladie fongique, facteur clé : l'humidité ; caractériser parcelle si en pente, en creux, en lisière de forêt
- Plantes réservoir à proximité de la parcelle en particulier pour les virus et les insectes
- Augmentation de la pression de ravageurs :
 - ✓ Si la parcelle se situe dans une zone maraîchère intensive
 - ✓ Si la taille de la parcelle est grande
 - ✓ Si une même culture « revient » souvent

Suggestions / Remarques

- Structure de BDD permettant l'accumulation de connaissances en ajoutant des références bibliographiques et des résultats expérimentaux

Date : 13/07/2010

Partie : *Biologie du sol, service : augmentation de la biodiversité, régulation biologique*

Expert : Gladys Loranger

Type indicateurs

Partie CES

- **Conditions environnementales de la parcelle / biologie du sol :**
 - Diversité faunistique (difficile à mesurer)
 - Activité de la microflore
 - ✓ mesurée par respirométrie (dégagement de CO₂ du sol)
 - ✓ hypothèse de la méthode : la biomasse la plus importante du sol est constituée de champignons et de bactéries
 - ✓ donne une idée de la potentialité à dégrader du C
 - Présence et diversité des ingénieurs du sol (fourmis et vers de terre surtout, permettent la structuration du milieu, création de galeries,...)
 - ✓ par comptage des nids de fourmis et recensement de la diversité de ces nids
 - ✓ par comptages du nombre et des types de turricules (déjections de vers de terre)

Partie services

- **Augmentation de la biodiversité**
 - Plutôt parler de régulation biologique, plus facile à quantifier
 - ✓ basée sur le fait que dans les systèmes « naturels », il n'y a pas de bioagresseurs
 - ✓ régulation des populations
 - Augmentation de la biodiversité entraîne diminution des bioagresseurs
 - Lien entre diversité végétale (aérienne, augmentation de la qualité des ressources) et diversité du sol (augmentation de la diversité des exsudats racinaires, complémentarité des systèmes racinaires)
 - A partir de 4 espèces associées, la diversité augmente de manière significative

Suggestions / Remarques

- Préférer des PDS locales pour éviter les problèmes de mycorhizes ou de nodosités pour les légumineuses (absence de la souche dans les sols)

Date : 15/07/2010

Partie : *Contraintes de l'exploitation agricole*

Expert : *Jean-Marc Blazy*

Type indicateurs

Partie CES

- **Contraintes de l'exploitation agricole / travail :**
 - Quantité globale de travail
 - ✓ Temps par PDS pour l'implantation (travail du sol + semis), l'entretien (fauchage, écrasement) et la destruction (fauchage)
 - ✓ Nombre de passages
 - ✓ Impact de la PDS sur la quantité de travail pour la CP : suppression / ajout d'opérations culturales, augmentation / diminution du temps des autres opérations, retard d'une des opérations
 - Pénibilité : note globale
 - A comparer avec la disponibilité en main d'œuvre, ...
- **Contraintes de l'exploitation / coût :**
 - Divisé en trois catégories :
 - ✓ Intrants (semences + engrais)
 - ✓ Travail
 - ✓ Equipement
 - A comparer avec la trésorerie de l'exploitation
- **Contraintes de l'exploitation / équipement :**
 - Besoins en équipement spécifique
 - A comparer avec la taille de l'exploitation (petite exploitation avec généralement peu de matériel) et l'appartenance a une CUMA
- **Contraintes de l'exploitation agricole / risque :**
 - Risque pour la santé
 - ✓ Plante à port érigé ou liane, visibilité différente de la surface du sol, problème pour les animaux dangereux (serpents en Martinique)
 - Risque économique
 - ✓ Risque climatique : plante très sensible aux variations de climat ou non
 - ✓ Risque compétition : compétition trop forte et plante sensible à la compétition
- **Contraintes de l'exploitation agricole :**
 - 12 critères basiques à croiser avec des critères de l'exploitation

Suggestions / Remarques

- Séparation des variables coût et équipement
- Valorisation de la production de la PDS prise en compte en service et non dans la variable coût
- Selon le service, voir s'il peut potentiellement s'exprimer ou non, exemples :
 - recyclage des éléments profond : prendre en compte la distribution des éléments
 - légumineuses : prendre en compte la disponibilité en N de la parcelle

Date : 15/07/2010

Partie : Climat, compétition pour la lumière

Expert : François Bussière

Type indicateurs

Partie CES

- **Conditions environnementales de la parcelle / Climat :**
 - Quantité d'eau / an
 - Sécheresse
 - ✓ Précipitations – ETP sur une semaine
 - ✓ Si négatif pendant 7 jours alors sécheresse
 - ✓ Sensibilité à la sécheresse peut-être plus importante en début de cycle
 - Températures :
 - ✓ Température minimale
 - ✓ Température maximale
 - ✓ Température moyenne
 - Excès d'eau
 - ✓ Dépend de la situation de la parcelle (pente, monticule,...)
 - ✓ Dépend de la structure du sol
 - ✓ Pluie cumulée sur quelques jours (peut-être une semaine)
 - Vent
 - ✓ Répertorier les situations exposées
 - ✓ Dépend de la localisation de la parcelle (haut de colline, présence de brise vent,...)
 - ✓ Variable : ventée ou non
 - Caractériser une année climatique de base
 - Regarder les données sur une année climatique de base : température maximale, température minimale, période de sécheresse
 - Selon la localisation de la PDS, rattacher une station météo
- **Compatibilité culture / PDS / Compétition lumière :**
 - Dépend de la structure spatiale de l'association
 - Dépend de la CP et de la PDS
 - Pour la CP, nécessité de données sur la densité et la distance entre les pieds
 - Regarder si la plante est couvrante ou non (généralement, si LAI>4, compétition pour la lumière)
 - Hauteur
 - ✓ Pour une même hauteur, peut avoir une compétition potentielle
 - ✓ Pour igname, regarder s'il est tuteuré ou pas (tuteur environ 1.50m)
 - Vitesse de croissance de chaque plante
 - ✓ Temps pour finir sa croissance, temps pour atteindre la LAI maximale
 - Sensibilité de la PDS et de la CP à l'ombre
- **Conditions environnementales de la parcelle / Bioagresseurs :**
 - Champignons : développement favorisé en conditions humides
 - ✓ Humidité du sol
 - ✓ Humidité de l'air
 - ✓ Pluies
 - Insectes : peut-être l'inverse des champignons, plutôt zones sèches

Suggestions / Remarques

- Phénomènes exceptionnels : nécessité de connaître la fréquence, peut-être trop compliqué
- En sortie de l'outil : conseil de plantation décalée pour éviter ou limiter la compétition

Date : 16/07/2010

Partie : Physique, chimie, biologie du sol, effet précédent, compétition eau et EM

Expert : Yves-Marie Cabidoche

Type indicateurs

Partie CES

➤ Conditions environnementales de la parcelle / Sol :

- Sols très différents en Guadeloupe avec des comportements très différents
- Nature du sol dépend du travail effectué dessus
- Sols issus de roches volcaniques avec minéraux hydrolysables
- Bilan hydrique :
 - ✓ Excédentaire → argiles kaoliniques, sols anciens avec halloysites, nitisols (sol brun rouille)
 - ✓ Déficitaire → conservation de la silice et obtention d'argiles de type smectite (argiles gonflantes), vertisols (Grande Terre, Bas de la côte sous le vent)
- Bas de la grande terre :
 - ✓ Support calcaire corallien très pur
 - ✓ Calcaire recharge les argiles en Ca donc argiles (sol) très stables (pas d'érosion)
- Bas de la côte sous le vent :
 - ✓ Présence de Na et de Mg, moins de Ca donc argiles moins stables
 - ✓ De même en Haïti, sols peu stables, problème d'érosion
- Erosion (Bas de la côte sous le vent):
 - ✓ Dépend du travail du sol
 - ✓ Normalement, horizons superficiels enrichis en Ca car restitutions des plantes plus chargées en Ca qu'en autres éléments (plantes prélèvent plus de Ca), mais travail du sol remonte horizons profonds et met à nu horizons chargés en Mg et Na moins stables
 - ✓ Problème d'érosion est localisé, dans la plupart des terres de Guadeloupe, sols sont stables
 - ✓ Pour tous les sols hormis les vertisols instables, pas de problème d'érosion
 - ✓ L'érosion est plutôt due à des écoulements concentrés (incisives), mauvaise gestion
- CEA globalement élevée dans les sols guadeloupéens, permet de retenir les nitrates donc pas de problèmes de dépassement de la norme de potabilité de l'eau
- Sols vieux :
 - ✓ Sols ferralitiques (halloysites + Fer)
 - ✓ Vertisols (smectites (vers l'est de la Guadeloupe, Saint-François))
 - ✓ Absence de minéraux primaires (feldspaths, pyroxènes et amphiboles)
 - ✓ Seuls minéraux primaires présents sont les minéraux primaires inaltérables : quartz bipyramidés et titanomagnétite
 - ✓ 90 % d'argiles
- Sols jeunes
 - ✓ nitisols et andosols
 - ✓ Présence de minéraux primaires
 - ✓ 60 % d'argiles

➤ Conditions environnementales de la parcelle / Physique du sol :

- Vertisols instables :
 - ✓ Bas de la côte sous le vent (aussi en Haïti et à Cuba, Saint Barth)
 - ✓ Infiltrabilité très faible à cause des smectites
- Vertisols stables :
 - ✓ Sols calciques en Grande Terre

- ✓ Infiltrabilité très faible à cause des smectites
- Vertisols
 - ✓ Disponibilité en eau faible, réserve peu accessible pour les plantes
 - ✓ Irrigation excédentaire diminue paradoxalement la disponibilité en eau : diminution de la capacité des organismes à aller puiser l'eau en profondeur (actinomycètes, systèmes racinaires et autres organismes du sol), donc diminution de la porosité en profondeur
 - ✓ Irrigation excédentaire : bactéries prennent le dessus sur les actinomycètes, préférer un régime pluvieux uniquement
- Sols ferralitiques :
 - ✓ Infiltrabilité forte (moins que les andosols)
 - ✓ Plus acides que les nitisols
- Andosols :
 - ✓ Sorte de gel avec une porosité continue
 - ✓ Formés d'agrégats (les plus petites particules transportables sur ces sols)
 - ✓ Infiltrabilité très forte (la plus forte)
- Nitisols :
 - ✓ Infiltrabilité un peu moins forte que les sols ferralitiques
 - ✓ pH acide généralement inférieur à 6
- Excès d'eau
 - ✓ Surtout pour les vertisols (à cause des smectites)
 - ✓ Vertisol conserve l'humidité
 - ✓ Fermeture facile de la surface, effet de fonds de labour (problème pour les racines si beaucoup d'irrigation)
 - ✓ Plante adaptée aux vertisols sont des plantes avec un système racinaires denses
- Sols ferralitiques et andosols : système de porosité très connecté, conductivité très élevée
- Nitisol et sols ferralitiques : quelques problèmes d'effet de fonds de labour mais moins fréquents que pour les vertisols
- Propriétés des sols dépendent du système de culture

➤ **Conditions environnementales de la parcelle / Chimie du sol :**

- Potassium
 - ✓ Problème général de carence
 - ✓ Peu de sources dans les éléments volcaniques (absence de micas et d'orthoses), apports par poussières transocéaniques
 - ✓ Élément limitant dans les systèmes cultivés, compensation du manque par des apports de cendres de végétaux (recyclage)
- Phosphore
 - ✓ Difficile de déterminer la fraction biodisponible (plusieurs méthodes mais pas d'uniformisation)
 - ✓ Globalement pas de problème de carence sur la Guadeloupe
- Azote
 - ✓ Restitution à moyen terme pour le cycle suivant
 - ✓ Restitution à court terme en court de cycle
 - ✓ Restitution immédiate par les exsudats racinaires
- Pas de carence dans les sols jeunes
- Sols ferralitiques
 - ✓ pas de possibilité de recharge en Mg et Ca par les éléments primaires, donc souvent carence de ces éléments de même pour les vertisols
 - ✓ MO à un rôle très important, indispensable au bon fonctionnement, pour la CEC
- Chlorose

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sur sols riches en calcaire (surtout Grande Terre) avec encroûtement calcaire, généralement quasi affleurant (sols peu épais) ✓ pH peut monter à 9 voire plus (équilibre avec calcaire à un pH de 8.6) • Toxicité aluminique <ul style="list-style-type: none"> ✓ Si ph < 5 et présence d'EM pouvant libérer de l'Al (minéral de la famille des smectites) ✓ Al se place en position échangeable sous forme d'ion aluminium Al³⁺, formation de smectite aluminique (altération des smectites) ✓ Sols ferrallitiques avec un peu de smectites sous climat humide ou avec argiles hydrothermales (pyrites (Fer + Soufre) et smectites), pyrites altèrent les smectites et entraînent une diminution du ph (chaulage calcaire permet de remonter le ph et de stabiliser l'Al) ✓ Mangroves soulevées : milieu réducteur à la base, présence de pyrites, lorsqu'elles sont soulevées, sorties de l'eau, pH descend et devient acide et toxicité aluminique ✓ Pour libérer l'Al, les smectites doivent être en déséquilibre avec leur milieu ou il doit y avoir un apport de pyrites • Biodisponibilité des éléments dépend de l'activité biologique des sols ➤ Conditions environnementales de la parcelle / Biologie du sol : <ul style="list-style-type: none"> • Présence de vers de terre facilite la biodisponibilité du P et du N • Labour + engrais : néfastes pour les vers de terre ➤ Compatibilité culture / PDS / Effet précédent : <ul style="list-style-type: none"> • Poacées dont canne à sucre favorisent la porosité du sol, sol rendu meuble ➤ Compatibilité culture / PDS / Compétition eau : <ul style="list-style-type: none"> • Conductivité du sol : si forte conductivité du milieu, pas d'influence de la disjonction spatiale des systèmes racinaires • Profondeur racinaire + densité racinaire • Besoins en eau • Fourniture de la parcelle • Irrigation de la parcelle ➤ Compatibilité culture / PDS / Compétition EM : <ul style="list-style-type: none"> • Profondeur racinaire + densité racinaire • Besoins en EM • Fourniture de la parcelle
<p>Partie services</p>
<ul style="list-style-type: none"> ➤ En premier service, limitation des adventices ➤ En deuxième, fourniture d'azote et restitution d'éléments minéraux ➤ En troisième, stockage du carbone (à la place de séquestration) ➤ En dernier, érosion, pas importante en Guadeloupe sauf sur la côte sous le vent (cf. partie physique du sol)
<p>Suggestions / Remarques</p>
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rechercher un service qui serait la recapture d'éléments indésirables (ex : chlordécone) pour éviter qu'ils ne passent dans la culture de rente ➤ Difficile de remplir tous les paramètres pour les PDS, car peu d'études sur les PDS et peu d'expérimentations

Date : 22/07/2010

Partie : *Compétition eau, EM, lumière, bioagresseurs, pressions bioagresseurs*

Expert : Régis Tournebize

Type indicateurs

Partie CES

- **Conditions environnementales de la parcelle / Climat :**
 - Conditions extrêmes : sécheresse, excès d'eau
 - Adaptation à la sécheresse
 - ✓ Caractérisation du type de feuilles (avec cuticules, nombre de stomates,...)
 - ✓ Feuille d'ombre ou de lumière (aussi pour la compétition pour la lumière)
 - ✓ Point de flétrissement des plantes (généralement -4.2 bar mais certaines plantes plus ou moins supérieure (inférieure) à cette valeur, si inférieur, flétrissement rapide)
 - Caractérisation d'une année par mois pour permettre des conseils sur les associations (date d'implantation la plus appropriée)

- **Compatibilité culture PDS / Compétition eau :**
 - Profondeur racinaire PDS et CP
 - Potentiel hydrique
 - ✓ Façon dont la plante absorbe et retient l'eau
 - ✓ Valeur négative : potentiel très négatif alors plante non compétitive, non résiliente par rapport à l'eau
 - Type de photosynthèse
 - ✓ CAM (exemple : ananas) plus compétitive que C4, elle-même plus compétitive que C3
 - Teneur en eau entre deux moments pour quantifier la perte en eau de la plante
 - Repérage du moment critique pour l'installation de la plante de service
 - ✓ Légumineuse sensible à la phase de germination
 - ✓ Graminée moins sensible
 - Besoins en eau en mm/an
 - Disponibilité en eau du sol
 - ✓ En fonction de la texture : sols sableux ne retiennent pas l'eau
 - Point de flétrissement (cf. climat)
 - Conductance stomatique, indice stomatique (Schoch, intéressant pour expérimentation approfondies)

- **Compatibilité culture PDS / Compétition lumière :**
 - % de croissance (ratio de couverture) en fonction du % d'ombrage
 - Problème : certaines plantes supportent bien l'ombre mais une fois remise au soleil, elles meurent
 - Paradoxalement, certaines plantes placées à l'ombre transpirent plus que des plantes au soleil
 - Hauteur
 - ✓ Rapport hauteur PDS/ hauteur CP
 - Port de la culture
 - Sensibilité de la PDS et de la CP à l'ombre
 - Conditionne le facteur d'évapotranspiration (fermeture ou non des stomates)
 - Conductance stomatique, indice stomatique (Schoch, intéressant pour expérimentation approfondies)

- **Compatibilité culture PDS / Compétition EM :**
 - Profondeur racinaire
 - Besoins PDS et CP
 - ✓ Pour légumineuse : pas de compétition pour l'azote
 - ✓ Regarder la biomasse développée pour quantifier les besoins
 - Richesse des sols en EM
 - ✓ Teneur en MO (après banane et canne, forte teneur en MO)
 - ✓ Réserve du sol (après banane, pas besoins de fertiliser)
 - ✓ Précédent (cf exemples précédents)
 - Loi du facteur minimum (peut-être dans la partie chimie du sol), si un élément absent, pas de croissance de la plante
- **Conditions environnementales de la parcelle / Bioagresseurs :**
 - Plantes nématoregulatrices : substances nématocides
 - Plantes contre les insectes : substances répulsives
- **Contraintes de l'exploitation / Travail, pénibilité :**
 - Problèmes de semences
 - ✓ Approvisionnement
 - ✓ Taille des graines (pour semoir, pour lit de semence,..)
 - Autonomie, reproductibilité vis-à-vis de la plante de service

Suggestions / Remarques

- Hauteur pour la compétition pour la lumière : regarder publications de Nadine Brisson sur STICS
- Pour la partie compétition pour la lumière, détailler le milieu sous la culture de rente car mieux connu (% de lumière arrivant,...) et regarder l'adéquation avec le type de milieu de la PDS
- Compétition lumière : attention aux variétés, Igname variété Belep (non tuteuré) pousse aussi bien en association avec Canavalia que sans association (autres effets que la lumière comme le microclimat instauré)
- Plante de service Commelina : sensible aux Begomo virus (virus de l'ananas)
- Attention aux effets grandes échelles des plantes de services, tout le monde ne doit pas faire la même PDS, nécessité de gérer les systèmes de cultures : si plusieurs parcelles avec une PDS commune alors les autres parcelles avec une autre PDS
- Pour éviter le problème précédent : associer des PDS
- Poids plus importants pour la compétition pour l'eau (conséquence grave sur temps court, compétition pour la lumière et EM, délai plus long) et pour les bioagresseurs
- Certaines PDS de lutte contre les adventices peuvent en devenir une

ANNEXE 10 : LISTE DES INDICATEURS PAR CATEGORIE

		NOM	NOTE	NOM	NOTE
INDICATEURS AGREGES	Aphis craccivora		Faible	Myzus persicae	
	Aphis fabae		Moyen	N P K	
	Aphis gossypii		Elevé	Nacoleia octasema	
	Architecture		Compétition faible Risque PDS Risque CP	Nécroses lésions	
	Aspidiella hartii			Nécroses racinaires	
	Aspidiotus destructor		Faible	Nématodes	
	Association		Moyen	Nématodes 1	
	Bactéries		Elevé	Nématodes 2	
	Bactéries Champignons Virus			Opogona sacchari	
	Besoins en N		Faible compétition	Palleucothrips musae	
	Besoins en N P K EM		Forte compétition	Pénibilité	
	Besoins en P K		Forte compétition PDS Forte compétition CP	Penicillium sp.	
	Bioagresseurs		Faible	Pentalonia nigronervosa	Faible
	Botryodiplodia theobromae		Moyen Elevé	Phenacoccus gossypii	Moyen Elevé
	Ca Mg		Oui	Phyllophaga pleei	
	Calcaire actif		Non	Phyllosticta spp.	
	Ceramidia viridis			Physique	
	Champignons			Planococcus Citri	
	Chimique			Pourriture	
	Choanephora cucurbitarum			Pratylenchus spp.	
	Climat			Précipitations	
	Cochenilles			Pression bactéries champignons virus	
	Cochenilles 1			Pression bioagresseurs	
	Cochenilles 2			Pression insectes	
	Cochenilles Thrips			Pression nématodes	
	Colletotrichum sp			Pression nématodes Insectes	
	Compatibilité culture PDS			Pression virus	
	Compétition eau			Radopholus similis	
	Compétition éléments minéraux		Faible Moyen	Ralstonia sp.	
	Compétition lumière		Elevé	Rapport hauteur PDS-CP	Moins de 1 1 Plus de 1
	Compétition ressources			Rhizoctonia sp.	
	Conditions environnementales parcelle			Rhopalosiphum maidis	
	Conditions expression service			Risque	
	Contraintes exploitation agricole			Risque pénibilité	
	Corticium rolfsii			Rongeurs	Faible
	Corynebacterium sp.			Rotation	Moyen Elevé
	Coût			Rotylenchus sp.	
	Cylindrocladium macrosporum			Saccharioccocus sacchari	
	Déformation galles			Salinité	
	Diaprepes famelicus			Sclerotium rolfsii	
Disponibilité du sol			Scutellonema bradys		
Dysmicoccus brevipes			Sécheresse	Oui / Non	

Equipements		Serratia sp.	Faible Moyen Elevé
Erionata thrax		Service potentiel	Oui / Non
Erwinia sp.		Service réel	Nul Peu efficace Moyennement efficace Très efficace
Excès eau	Oui Non	Sol	Faible Moyen Elevé
Fertilité		Stachyldium theobromae	Faible compétition Forte compétition Forte compétition PDS Forte compétition CP
Flétrissement		Système racinaire eau	Faible compétition Forte compétition Forte compétition PDS Forte compétition CP
Flétrissement feuilles		Système racinaire eau CP	Plagiotropique Orthotropique
Flétrissement feuilles 1		Système racinaire eau PDS	Isotropique faible Isotropique fort
Flétrissement feuilles 2		Système racinaire EM	Faible compétition Forte compétition Forte compétition PDS Forte compétition CP
Flétrissement feuilles 3		Système racinaire EM CP	Plagiotropique Orthotropique
Fourmi manioc		Système racinaire EM PDS	Isotropique faible Isotropique fort
Frankliniella parvula		Température	Faible Moyen Elevé
Fusarium sp.		Thrips	TT T PDS T CP Pas de tolérance
Helicotylenchus multicinctus	Faible Moyen Elevé	Tolérance ombrage	Oui / Non
Hoplolaimus pararobustus		Toxicité aluminique	
Implantation culture		Toxicité potentielle	
Implantation parcelle		Toxines	
Insectes		Trachyphaera fructigena	
Insectes défoliateur		Travail	
Insectes Nématodes Rongeurs		Tubercules régimes fruit 1	Faible Moyen Elevé
Lasiodiplodia theobromae		Tubercules régimes fruit 2	
Lépidoptères		Tubercules régimes fruit 3	
Lépidoptères 1		Tubercules régimes fruits	
Lépidoptères 2		Vecteur pucerons	
Lésions appareil racinaire		Vecteurs cochenilles	
Main oeuvre		Vecteurs pucerons 1	
Maladies bactériennes		Vecteurs pucerons 2	
Maladies fongiques		Vent	Oui / Non
Maladies virales		Verticillium sp.	Faible
Meloidogyne spp.		Xanthomonas campestris	Moyen
Mycosphaerella spp.		Zygotylenchus taomasinae	Elevé
Total : 146			

PARCELLES	NOM	NOTE	NOM	NOTE
	Agrobiodiversité environnement	Faible Moyen Elevé	Inertie chimique	Oui Non
	Appartenance CUMA	Oui	Main oeuvre exploitation	Suffisante Insuffisante
	Carence en Ca et Mg	Non	Mécanisation exploitation	Faible Moyen Elevé
	Conductivité du sol	Moins de 0,75 dS par m 0,72 à 2 dS par m Plus de 2 dS par m	Nombre de passages dans la parcelle	
	Disponibilité en éléments N P K	Faible	Ouverture du paysage	Oui Non
	Durée des flaques en surface après de fortes pluies	Moyen Elevé	Présence animaux vénimeux	
	Encroûtement en surface	Oui Non	Présence de cailloux	Faible Moyen Elevé
	Feuilles lacérées		Présence poacées typiques de milieux à toxicité aluminique	Oui Non
	Fréquence craquelures du sol supérieure à 7 jours		Quantité eau par an	Moins de 1250 1250 à 2000 Plus de 2000 mm par an
Fréquence des maladies bactériennes		Richesse minérale du sol	Faible Moyen Elevé	
Fréquence des maladies dues aux insectes		Rigoles et transport agrégats	Oui Non	
Fréquence des maladies dues aux nématodes	Faible Moyen Elevé	Seuil reproductibilité exploitation	Déficitaire Excédentaire	
Fréquence des maladies dues aux rongeurs		Sol blanchâtre affleurant faisant effervescence à acide	Oui Non	
Fréquence des maladies virales sur la parcelle		Température moyenne parcelle	Moins de 20°C 20 à 30°C Plus de 30°C	
Fréquence maladies fongiques sur la parcelle		Teneur en MO	Faible Moyen Elevé	
Total :30				

	NOM	NOTE
SERVICE	Engrais vert	
	Erosion	Oui
	Lutte contre les adventices	Non
	Nématorégulation	
	Tuteur	
Total : 5		

PLANTES DE SERVICE (PDS)

NOM	NOTE	NOM	NOTE
Approvisionnement en semences	Facile Difficile	PDS hôte de Pentalonia nigronervosa	
Besoins en équipement		PDS hôte de Phenacoccus gossypii	
Besoins en N PDS	Faible	PDS hôte de Phyllophaga pleei	
Besoins en P K PDS	Moyen	PDS hôte de Phyllosticta spp.	
Besoins N P K PDS	Elevé	PDS hôte de Planococcus Citri	
Besoins PDS compétition eau		PDS hôte de Pratylenchus spp.	
Besoins PDS en eau	Moins de 1250 1250 à 2000 Plus de 2000 mm par an	PDS hôte de Radopholus similis	Oui Non
Colonisation latérale maximale de la PDS eau	Moins de 1m	PDS hôte de Ralstonia sp.	
Colonisation latérale maximale EM PDS	Plus de 1m	PDS hôte de Rhizoctonia sp.	
Densité et volubilité de la PDS	Faible Moyen Elevé	PDS hôte de Rhopalosiphum maidis	
Destruction de la PDS	Facile Difficile	PDS hôte de Rotylenchus sp.	
Gène à la circulation de la PDS	Faible Moyen Elevé	PDS hôte de Sacchariococcus sacchari	
Hauteur PDS	Moins de 50 cm 50 cm à 1m50 Plus de 1m50	PDS hôte de Sclerotium rolfsii	
Opérations en moins	Moins de 2	PDS hôte de Scutellonema bradys	
Opérations supplémentaires	Plus de 2	PDS hôte de Serratia sp.	Oui Non
PDS hôte d'Aphis craccivora		PDS hôte de Stachylidium theobromae	
PDS hôte d'Aphis fabae		PDS hôte de Trachyphaera fructigena	
PDS hôte d'Aphis gossypii		PDS hôte de Verticillium sp.	
PDS hôte d'Aspidiella hartii		PDS hôte de Xanthomonas campestris	
PDS hôte d'Aspidiotus destructor		PDS hôte de Zygotylenchus taomasinae	
PDS hôte de Botryodiplodia theobromae		Port PDS	Peu couvrant Très couvrant
PDS hôte de Ceramidia viridis	Oui Non	Profondeur racinaire maximale de la PDS eau	Moins de 60 cm Plus de 60 cm
PDS hôte de Choanephora cucurbitarum		Profondeur racinaire maximale EM PDS	
PDS hôte de Colletotrichum sp		Sensibilité de la PDS aux maladies bactériennes	
PDS hôte de Corticium rolfsii		Sensibilité CP à Stachylidium theobromae	Nulle Anecdotique
PDS hôte de Corynebacterium sp.		Sensibilité de la CP à Corynebacterium sp.	Modérée
PDS hôte de Cylindrocladium macrosporum		Sensibilité de la CP à Scutellonema bradys	Majeure
PDS hôte de Diaprepes famelicus		Sensibilité de la PDS à la salinité	Oui Non

PDS hôte de <i>Dysmicoccus brevipes</i>		Sensibilité de la PDS aux maladies dues aux insectes	
PDS hôte de <i>Erionata thrax</i>		Sensibilité de la PDS aux maladies dues aux nématodes	Nulle
PDS hôte de <i>Erwinia sp.</i>		Sensibilité de la PDS aux maladies dues aux rongeurs	Anecdotique Modérée
PDS hôte de <i>Frankliniella parvula</i>		Sensibilité de la PDS aux maladies fongiques	Majeure
PDS hôte de <i>Fusarium sp.</i>		Sensibilité de la PDS aux maladies virales	
PDS hôte de <i>Helicotylenchus multincinctus</i>		Sensibilité PDS à la sécheresse	Oui Non
PDS hôte de <i>Hoplolaimus pararobustus</i>		Sensibilité PDS à la toxicité aluminique	
PDS hôte de la fourmi manioc		Sensibilité PDS au vent	
PDS hôte de <i>Lasiodiplodia theobromae</i>		Sensibilité PDS aux carences Ca et Mg	Oui Non
PDS hôte de <i>Meloidogyne spp.</i>		Sensibilité PDS aux excès eau	
PDS hôte de <i>Mycosphaerella spp.</i>		Sensibilité PDS aux pH élevés	
PDS hôte de <i>Myzus persicae</i>	Oui Non	Température optimale PDS	Moins de 20°C 20 à 30°C Plus de 30°C
PDS hôte de <i>Nacoleia octasema</i>		Tolérance ombrage PDS	Oui Non
PDS hôte de <i>Opogona sacchari</i>		Type de PDS	Légumineuse Non légumineuse
PDS hôte de <i>Palleucothrips musae</i>			Semences de moins de 5 mm
PDS hôte de <i>Penicillium sp.</i>		Type implantation PDS	Semences de plus de 5 mm Boutures
Total : 87			

CULTURES DE RENTE (CP)	NOM	NOTE	NOM	NOTE
		Besoins CP compétition eau	Faible	Sensibilité CP à Trachyphaera fructigena
	Besoins en N CP	Moyen	Sensibilité CP à Verticillium sp.	
	Besoins en P K CP	Elevé	Sensibilité CP Aphis gossypii (vecteur)	
	Colonisation latérale maximale de la CP eau	Moins de 1m	Sensibilité de la CP à Aspidiella hartii	
	Colonisation latérale maximale EM CP	Plus de 1m	Sensibilité de la CP à Aspidiotus destructor	
	Hauteur CP	Moins de 50 cm 50 cm à 1m50 Plus de 1m50	Sensibilité de la CP à Ceramidia viridis	
	Port CP	Peu couvrant Très couvrant	Sensibilité de la CP à Diaprepes famelicus	
	Profondeur racinaire maximale de la CP eau	Moins de 60 cm	Sensibilité de la CP à Erionata thrax	
	Profondeur racinaire maximale EM CP	Plus de 60 cm	Sensibilité de la CP à Erwinia sp.	
	Sensibilité CP à Aphis craccivora (vecteur virus)	Nulle Anecdotique Modérée Majeure	Sensibilité de la CP à Frankliniella parvula	Nulle Anecdotique Modérée Majeure
	Sensibilité CP à Aphis fabae (vecteur virus)		Sensibilité de la CP à Helicotylenchus multicinctus	
	Sensibilité CP à Botryodiplodia theobromae		Sensibilité de la CP à Hoplolaimus pararobustus	
	Sensibilité CP à Choanephora cucurbitarum		Sensibilité de la CP à la fourmi manioc	
	Sensibilité CP à Colletotrichum sp		Sensibilité de la CP à Meloidogyne spp.	
	Sensibilité CP à Corticium rolfsii		Sensibilité de la CP à Nacoleia octasema	
	Sensibilité CP à Cylindrocladium macrosporum		Sensibilité de la CP à Opogona sacchari	
	Sensibilité CP à Dysmicoccus brevipes (vecteur)		Sensibilité de la CP à Palleucothrips musae	
	Sensibilité CP à Fusarium sp.		Sensibilité de la CP à Phenacoccus gossypii	
	Sensibilité CP à Lasiodiplodia theobromae		Sensibilité de la CP à Phyllophaga pleei	
	Sensibilité CP à Mycosphaerella spp.		Sensibilité de la CP à Planococcus Citri	
	Sensibilité CP à Myzus persicae (vecteur)		Sensibilité de la CP à Pratylenchus spp.	
	Sensibilité CP à Penicillium sp.		Sensibilité de la CP à Radopholus similis	
	Sensibilité CP à Pentalonia nigronervosa (vecteur)		Sensibilité de la CP à Ralstonia sp.	
	Sensibilité CP à Phyllosticta spp.		Sensibilité de la CP à Rotylenchus sp.	
	Sensibilité CP à Rhizoctonia sp.		Sensibilité de la CP à Serratia sp.	
	Sensibilité CP à Rhopalosiphum maidis (vecteur)		Sensibilité de la CP à Xanthomonas campestris	
	Sensibilité CP à Saccharioccocus sacchari		Sensibilité de la CP à Zygotylenchus taomasinae	
	Sensibilité CP à Sclerotium rolfsii	Tolérance ombrage CP	Oui / Non	
	Total : 56			

ANNEXE 11 : TESTS DE SCENARIOS, VARIATION DE LA CULTURE DE RENTE

Scénario A	Résultats A																																																												
<p>Service : Engrais vert Implantation : Association Parcelle : Parcelle 2 Culture de rente : Igname</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Plantes de service</th> <th>Service</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>73</td><td>Crotalaria retusa</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>70</td><td>Crotalaria mucronata</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>69</td><td>Crotalaria longirostrata</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>68</td><td>Crotalaria juncea</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>72</td><td>Crotalaria spectabilis</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>91</td><td>Stylosanthes guianensis</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>80</td><td>Leucaena leucocephala</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>54</td><td>Pennisetum americanum</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>76</td><td>Dolichas lablab</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>92</td><td>Stylosanthes gracilis</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>93</td><td>Stylosanthes hamata</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>71</td><td>Crotalaria paulinea</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>66</td><td>Canavalia ensiformis</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>94</td><td>Vigna unguiculata</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>63</td><td>Cajanus cajan</td><td>Peu efficace</td></tr> <tr><td>61</td><td>Alysicarpus vaginalis</td><td>Peu efficace</td></tr> <tr><td>83</td><td>Mucuna aterrima</td><td>Peu efficace</td></tr> <tr><td>84</td><td>Mucuna deeringiana</td><td>Peu efficace</td></tr> <tr><td>79</td><td>Lablab purpureus</td><td>Peu efficace</td></tr> </tbody> </table>	ID	Plantes de service	Service	73	Crotalaria retusa	Moyennement efficace	70	Crotalaria mucronata	Moyennement efficace	69	Crotalaria longirostrata	Moyennement efficace	68	Crotalaria juncea	Moyennement efficace	72	Crotalaria spectabilis	Moyennement efficace	91	Stylosanthes guianensis	Moyennement efficace	80	Leucaena leucocephala	Moyennement efficace	54	Pennisetum americanum	Moyennement efficace	76	Dolichas lablab	Moyennement efficace	92	Stylosanthes gracilis	Moyennement efficace	93	Stylosanthes hamata	Moyennement efficace	71	Crotalaria paulinea	Moyennement efficace	66	Canavalia ensiformis	Moyennement efficace	94	Vigna unguiculata	Moyennement efficace	63	Cajanus cajan	Peu efficace	61	Alysicarpus vaginalis	Peu efficace	83	Mucuna aterrima	Peu efficace	84	Mucuna deeringiana	Peu efficace	79	Lablab purpureus	Peu efficace
ID	Plantes de service	Service																																																											
73	Crotalaria retusa	Moyennement efficace																																																											
70	Crotalaria mucronata	Moyennement efficace																																																											
69	Crotalaria longirostrata	Moyennement efficace																																																											
68	Crotalaria juncea	Moyennement efficace																																																											
72	Crotalaria spectabilis	Moyennement efficace																																																											
91	Stylosanthes guianensis	Moyennement efficace																																																											
80	Leucaena leucocephala	Moyennement efficace																																																											
54	Pennisetum americanum	Moyennement efficace																																																											
76	Dolichas lablab	Moyennement efficace																																																											
92	Stylosanthes gracilis	Moyennement efficace																																																											
93	Stylosanthes hamata	Moyennement efficace																																																											
71	Crotalaria paulinea	Moyennement efficace																																																											
66	Canavalia ensiformis	Moyennement efficace																																																											
94	Vigna unguiculata	Moyennement efficace																																																											
63	Cajanus cajan	Peu efficace																																																											
61	Alysicarpus vaginalis	Peu efficace																																																											
83	Mucuna aterrima	Peu efficace																																																											
84	Mucuna deeringiana	Peu efficace																																																											
79	Lablab purpureus	Peu efficace																																																											
Scénario B	Résultats B																																																												
<p>Service : Engrais vert Implantation : Association Parcelle : Parcelle 2 Culture de rente : Banane</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Plantes de service</th> <th>Service</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>73</td><td>Crotalaria retusa</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>70</td><td>Crotalaria mucronata</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>69</td><td>Crotalaria longirostrata</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>68</td><td>Crotalaria juncea</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>72</td><td>Crotalaria spectabilis</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>91</td><td>Stylosanthes guianensis</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>80</td><td>Leucaena leucocephala</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>54</td><td>Pennisetum americanum</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>92</td><td>Stylosanthes gracilis</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>93</td><td>Stylosanthes hamata</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>71</td><td>Crotalaria paulinea</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>94</td><td>Vigna unguiculata</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>66</td><td>Canavalia ensiformis</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>63</td><td>Cajanus cajan</td><td>Peu efficace</td></tr> <tr><td>76</td><td>Dolichas lablab</td><td>Peu efficace</td></tr> <tr><td>79</td><td>Lablab purpureus</td><td>Peu efficace</td></tr> <tr><td>83</td><td>Mucuna aterrima</td><td>Peu efficace</td></tr> <tr><td>61</td><td>Alysicarpus vaginalis</td><td>Peu efficace</td></tr> <tr><td>84</td><td>Mucuna deeringiana</td><td>Peu efficace</td></tr> </tbody> </table>	ID	Plantes de service	Service	73	Crotalaria retusa	Moyennement efficace	70	Crotalaria mucronata	Moyennement efficace	69	Crotalaria longirostrata	Moyennement efficace	68	Crotalaria juncea	Moyennement efficace	72	Crotalaria spectabilis	Moyennement efficace	91	Stylosanthes guianensis	Moyennement efficace	80	Leucaena leucocephala	Moyennement efficace	54	Pennisetum americanum	Moyennement efficace	92	Stylosanthes gracilis	Moyennement efficace	93	Stylosanthes hamata	Moyennement efficace	71	Crotalaria paulinea	Moyennement efficace	94	Vigna unguiculata	Moyennement efficace	66	Canavalia ensiformis	Moyennement efficace	63	Cajanus cajan	Peu efficace	76	Dolichas lablab	Peu efficace	79	Lablab purpureus	Peu efficace	83	Mucuna aterrima	Peu efficace	61	Alysicarpus vaginalis	Peu efficace	84	Mucuna deeringiana	Peu efficace
ID	Plantes de service	Service																																																											
73	Crotalaria retusa	Moyennement efficace																																																											
70	Crotalaria mucronata	Moyennement efficace																																																											
69	Crotalaria longirostrata	Moyennement efficace																																																											
68	Crotalaria juncea	Moyennement efficace																																																											
72	Crotalaria spectabilis	Moyennement efficace																																																											
91	Stylosanthes guianensis	Moyennement efficace																																																											
80	Leucaena leucocephala	Moyennement efficace																																																											
54	Pennisetum americanum	Moyennement efficace																																																											
92	Stylosanthes gracilis	Moyennement efficace																																																											
93	Stylosanthes hamata	Moyennement efficace																																																											
71	Crotalaria paulinea	Moyennement efficace																																																											
94	Vigna unguiculata	Moyennement efficace																																																											
66	Canavalia ensiformis	Moyennement efficace																																																											
63	Cajanus cajan	Peu efficace																																																											
76	Dolichas lablab	Peu efficace																																																											
79	Lablab purpureus	Peu efficace																																																											
83	Mucuna aterrima	Peu efficace																																																											
61	Alysicarpus vaginalis	Peu efficace																																																											
84	Mucuna deeringiana	Peu efficace																																																											

ANNEXE 12 : TESTS DE SCENARIOS, VARIATION DE LA PARCELLE

Scénario A	Résultats A																																																																					
<p>Service : Lutte contre les adventices Implantation : Rotation Parcelle : Parcelle 1 Culture de rente : Banane</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Plantes de service</th> <th>Service</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>93</td><td>Stylosanthes hamata</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>91</td><td>Stylosanthes guianensis</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>72</td><td>Crotalaria spectabilis</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>73</td><td>Crotalaria retusa</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>69</td><td>Crotalaria longirostrata</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>70</td><td>Crotalaria mucronata</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>48</td><td>Digitaria decumbens</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>56</td><td>Sorghum</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>53</td><td>Paspalum notatum</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>87</td><td>Neonotonia wightii</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>82</td><td>Medico sativa</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>81</td><td>Macroptilium atropurpureum</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>88</td><td>Pueraria phaseoloides</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>55</td><td>Pennisetum purpureum</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>68</td><td>Crotalaria juncea</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>71</td><td>Crotalaria paulinea</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>65</td><td>Calopogonium mucunoides</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>43</td><td>Brachiaria humidicola</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>94</td><td>Vigna unguiculata</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>66</td><td>Canavalia ensiformis</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>44</td><td>Brachiaria decumbens</td><td>Très efficace</td></tr> <tr><td>62</td><td>Arachis pintoi</td><td>Très efficace</td></tr> </tbody> </table>	ID	Plantes de service	Service	93	Stylosanthes hamata	Très efficace	91	Stylosanthes guianensis	Très efficace	72	Crotalaria spectabilis	Très efficace	73	Crotalaria retusa	Très efficace	69	Crotalaria longirostrata	Très efficace	70	Crotalaria mucronata	Très efficace	48	Digitaria decumbens	Très efficace	56	Sorghum	Très efficace	53	Paspalum notatum	Très efficace	87	Neonotonia wightii	Très efficace	82	Medico sativa	Très efficace	81	Macroptilium atropurpureum	Très efficace	88	Pueraria phaseoloides	Très efficace	55	Pennisetum purpureum	Très efficace	68	Crotalaria juncea	Très efficace	71	Crotalaria paulinea	Très efficace	65	Calopogonium mucunoides	Très efficace	43	Brachiaria humidicola	Très efficace	94	Vigna unguiculata	Très efficace	66	Canavalia ensiformis	Très efficace	44	Brachiaria decumbens	Très efficace	62	Arachis pintoi	Très efficace
ID	Plantes de service	Service																																																																				
93	Stylosanthes hamata	Très efficace																																																																				
91	Stylosanthes guianensis	Très efficace																																																																				
72	Crotalaria spectabilis	Très efficace																																																																				
73	Crotalaria retusa	Très efficace																																																																				
69	Crotalaria longirostrata	Très efficace																																																																				
70	Crotalaria mucronata	Très efficace																																																																				
48	Digitaria decumbens	Très efficace																																																																				
56	Sorghum	Très efficace																																																																				
53	Paspalum notatum	Très efficace																																																																				
87	Neonotonia wightii	Très efficace																																																																				
82	Medico sativa	Très efficace																																																																				
81	Macroptilium atropurpureum	Très efficace																																																																				
88	Pueraria phaseoloides	Très efficace																																																																				
55	Pennisetum purpureum	Très efficace																																																																				
68	Crotalaria juncea	Très efficace																																																																				
71	Crotalaria paulinea	Très efficace																																																																				
65	Calopogonium mucunoides	Très efficace																																																																				
43	Brachiaria humidicola	Très efficace																																																																				
94	Vigna unguiculata	Très efficace																																																																				
66	Canavalia ensiformis	Très efficace																																																																				
44	Brachiaria decumbens	Très efficace																																																																				
62	Arachis pintoi	Très efficace																																																																				
Scénario B	Résultats B																																																																					
<p>Service : Lutte contre les adventices Implantation : Rotation Parcelle : Parcelle 2 Culture de rente : Banane</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Plantes de service</th> <th>Service</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>72</td><td>Crotalaria spectabilis</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>93</td><td>Stylosanthes hamata</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>73</td><td>Crotalaria retusa</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>70</td><td>Crotalaria mucronata</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>69</td><td>Crotalaria longirostrata</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>91</td><td>Stylosanthes guianensis</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>48</td><td>Digitaria decumbens</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>82</td><td>Medico sativa</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>53</td><td>Paspalum notatum</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>81</td><td>Macroptilium atropurpureum</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>55</td><td>Pennisetum purpureum</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>56</td><td>Sorghum</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>68</td><td>Crotalaria juncea</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>71</td><td>Crotalaria paulinea</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>94</td><td>Vigna unguiculata</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>44</td><td>Brachiaria decumbens</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>43</td><td>Brachiaria humidicola</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>66</td><td>Canavalia ensiformis</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>65</td><td>Calopogonium mucunoides</td><td>Moyennement efficace</td></tr> <tr><td>62</td><td>Arachis pintoi</td><td>Peu efficace</td></tr> <tr><td>87</td><td>Neonotonia wightii</td><td>Peu efficace</td></tr> <tr><td>88</td><td>Pueraria phaseoloides</td><td>Peu efficace</td></tr> </tbody> </table>	ID	Plantes de service	Service	72	Crotalaria spectabilis	Moyennement efficace	93	Stylosanthes hamata	Moyennement efficace	73	Crotalaria retusa	Moyennement efficace	70	Crotalaria mucronata	Moyennement efficace	69	Crotalaria longirostrata	Moyennement efficace	91	Stylosanthes guianensis	Moyennement efficace	48	Digitaria decumbens	Moyennement efficace	82	Medico sativa	Moyennement efficace	53	Paspalum notatum	Moyennement efficace	81	Macroptilium atropurpureum	Moyennement efficace	55	Pennisetum purpureum	Moyennement efficace	56	Sorghum	Moyennement efficace	68	Crotalaria juncea	Moyennement efficace	71	Crotalaria paulinea	Moyennement efficace	94	Vigna unguiculata	Moyennement efficace	44	Brachiaria decumbens	Moyennement efficace	43	Brachiaria humidicola	Moyennement efficace	66	Canavalia ensiformis	Moyennement efficace	65	Calopogonium mucunoides	Moyennement efficace	62	Arachis pintoi	Peu efficace	87	Neonotonia wightii	Peu efficace	88	Pueraria phaseoloides	Peu efficace
ID	Plantes de service	Service																																																																				
72	Crotalaria spectabilis	Moyennement efficace																																																																				
93	Stylosanthes hamata	Moyennement efficace																																																																				
73	Crotalaria retusa	Moyennement efficace																																																																				
70	Crotalaria mucronata	Moyennement efficace																																																																				
69	Crotalaria longirostrata	Moyennement efficace																																																																				
91	Stylosanthes guianensis	Moyennement efficace																																																																				
48	Digitaria decumbens	Moyennement efficace																																																																				
82	Medico sativa	Moyennement efficace																																																																				
53	Paspalum notatum	Moyennement efficace																																																																				
81	Macroptilium atropurpureum	Moyennement efficace																																																																				
55	Pennisetum purpureum	Moyennement efficace																																																																				
56	Sorghum	Moyennement efficace																																																																				
68	Crotalaria juncea	Moyennement efficace																																																																				
71	Crotalaria paulinea	Moyennement efficace																																																																				
94	Vigna unguiculata	Moyennement efficace																																																																				
44	Brachiaria decumbens	Moyennement efficace																																																																				
43	Brachiaria humidicola	Moyennement efficace																																																																				
66	Canavalia ensiformis	Moyennement efficace																																																																				
65	Calopogonium mucunoides	Moyennement efficace																																																																				
62	Arachis pintoi	Peu efficace																																																																				
87	Neonotonia wightii	Peu efficace																																																																				
88	Pueraria phaseoloides	Peu efficace																																																																				