

PDR Guadeloupe 2007-2013

PROJET

Développement et
évaluation de systèmes de
Production
horticole
intégrée en Guadeloupe

**Rapport
annuel**

**2
0
1
0**



SOMMAIRE

AXE 1 : CONCEVOIR, DEVELOPPER ET EVALUER DES PRATIQUES CULTURALES RESPECTUEUSES DE L'ENVIRONNEMENT

CONSTRUCTION ET EVALUATION DE SYSTEMES DE CULTURE INNOVANTS – AGRUMES	P. 4
<u>1. Recherche d'un nouvel itinéraire technique : rappel des caractéristiques des prototypes expérimentés</u>	p. 4
<u>2. Analyse multicritère des performances des prototypes</u>	p. 6
<u>2.1 Les indicateurs d'évaluation</u>	p. 6
<u>2.2 Echantillonnage, mesures et analyse des données</u>	p. 9
<u>2.3 Résultats : ajustement des niveaux d'intrants des cinq prototypes</u>	p. 10
<u>2.4 Résultat des indicateurs de performance</u>	p. 10
<u>2.5 Résultat des indicateurs de risque sur l'environnement</u>	p. 12
<u>3. Reconception participative du système de culture agrumicole</u>	p. 13
<u>4. Proposition d'une pratique de gestion de l'enherbement durable pour les vergers d'agrumes guadeloupéens</u>	p. 16
CONSTRUCTION ET EVALUATION DE SYSTEMES DE CULTURE INNOVANTS – MANGUIER	P. 16

AXE 2 : DIFFUSER LES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES, LES PRATIQUES NOVATRICES ET LES OUTILS D'EVALUATION AGRI-ENVIRONNEMENTAUX

1. PERMANENCE TECHNIQUE, ACCUEIL DE GROUPES ET PUBLICS	P. 18
2. ACTIONS DE FORMATIONS PROFESSIONNELLES ET SUPERIEURES	P. 18
3. APPUIS AUX PRODUCTEURS ET AUX FILIERES	P. 18
4. JOURNEES TECHNIQUES/REUNIONS DE TRAVAIL/COMITE DE PILOTAGE	P. 18
5. DEVELOPPEMENT D'OUTILS D'AIDE A LA DECISION	P. 20
NPI, un indicateur du potentiel nourricier de la végétation pour les agents de lutte biologique nectarivores basé sur les traits floraux fonctionnels	
<u>5.1. De l'intérêt d'un indicateur de ressources florifères basé sur des traits floraux</u>	p. 20
<u>5.2. Méthodologie</u>	p. 21
<u>5.2.1 La caractérisation des couverts végétaux</u>	p. 21
<u>5.2.2 La construction de l'indicateur NPI</u>	p. 23
<u>5.3. Principaux résultats</u>	p. 24
<u>5.3.1 Caractérisation générale de l'enherbement</u>	p. 24
<u>5.3.2 Score NPI</u>	p. 25
<u>5.4. Discussion/conclusion</u>	p. 26
6. DIFFUSION DE L'INFORMATION & PUBLICATIONS	P. 27
7. PARTENARIATS ET COOPERATION REGIONALE	P. 28

AVANT-PROPOS : OBJECTIFS DU PROJET DéPhi

Le concept d'intensification écologique est au cœur de tous les débats. Plus économes en intrants (produits chimiques, énergie) et moins générateurs d'effets négatifs pour l'environnement, les systèmes de production doivent s'appuyer davantage sur la compréhension et l'utilisation des processus écologiques en œuvre au sein des agrosystèmes mais aussi sur l'analyse des processus favorisant ou freinant l'adoption de ces nouvelles pratiques. Comment donc produire des fruits de qualité tout en respectant l'environnement dans des milieux insulaires fragiles ? Cette question représente un enjeu majeur pour les producteurs de fruits des régions tropicales et subtropicales. Il s'agit donc de concevoir puis promouvoir des systèmes de culture innovants et durables où la biodiversité retrouvée du verger en est le pilier. Le nouveau système de culture doit répondre à une demande des acteurs de la filière afin d'en faciliter l'appropriation. A ces fins, le projet DéPhi implique les partenaires dès les premières phases de conception de ces systèmes.

3

Ont contribué à la rédaction de ce rapport 2010 :

Membres permanents du CIRAD en 2010

UPR Hortsys Vieux-Habitants : **Fabrice Le Bellec**, agronome coordinateur du projet DéPhi, **Corinne Calabre**, technicien supérieur, **Frédéric Vingadassalon**, chef de culture, **Jérôme Saint-Marc**, collaborateur, **Frank Marius**, collaborateur, **Frantz Donat**, collaborateur et **Emmanuel Mombrun**, collaborateur.

Volontaires civiles à l'aide technique en 2010

UPR Hortsys Vieux-Habitants : **Amélie Rajaud**, agronome (jusqu'à juin 2010), **Pauline Dubois**, agronome (jusqu'à octobre 2010).

Et en partenariat avec :

Les producteurs de l'ASSOFWI représentés par leur président **Jean-Marc Petit** et **Laure de Roffignac**.

AXE 1 : CONCEVOIR, DEVELOPPER ET EVALUER DES PRATIQUES CULTURALES RESPECTUEUSES DE L'ENVIRONNEMENT

CONSTRUCTION ET EVALUATION DE SYSTEMES DE CULTURE INNOVANTS - AGRUMES

1. Recherche d'un nouvel itinéraire technique : rappel des caractéristiques des prototypes expérimentés

L'analyse des pratiques et leur comparaison à l'itinéraire technique de référence nous a permis d'identifier les principales contraintes du système de culture agrumicole en Guadeloupe, il s'agit de la gestion de l'enherbement (Le Bellec *et al.*, 2011)¹. Des prototypes expérimentaux ont donc été créés afin de répondre à cette contrainte, pour mémoire nous les rappelons ci-après.

Prototypes témoins

PV. Enherbement pérenne naturel : gestion de l'enherbement par une mécanisation régulière (debroussailluse portée) du couvert (enherbement composé de la flore native et d'adventices), détournage chimique des agrumes. Ce prototype reflète une pratique courante des agrumiculteurs quand les conditions de milieu et d'équipement leurs permettent ce type de gestion.

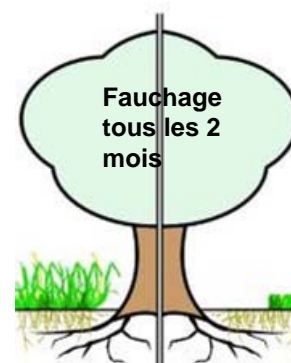


Figure 1 : Prototype PV

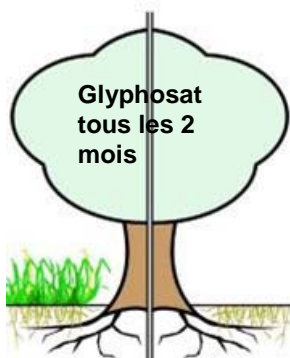


Figure 2 : Prototype GLY

GLY. Désherbage chimique : gestion de l'enherbement par des applications régulières d'herbicide sur l'ensemble de la parcelle (tous les 2 mois au Glyphosate). Ce prototype reflète une pratique courante des agrumiculteurs quand les conditions de milieu et d'équipement ne leur permettent pas de gérer mécaniquement l'enherbement.

Prototypes 'low' herbicide

ANeo. Enherbement annuel légumineuse : gestion de l'enherbement par une plante de couverture volubile pérenne (*Neonotonia wightii*) ne nécessitant pas d'intervention mécanique en cours de cycle (annuel), détournage chimique des agrumes. A l'entrée de la saison sèche, lorsque la concurrence (enherbement/agrumes) pour l'eau est avérée, l'enherbement est détruit en totalité par un herbicide non sélectif laissant un mulch sur l'ensemble de la parcelle.

¹ Le Bellec F., Cattan, P., Bonin M., Rajaud, A., 2011. Building a typology of cropping practices from comparison to a common reference: first step for a relevant cropping system re-designing process – Results for tropical citrus production. Fruits, 66, In press.

Ce prototype est adapté notamment aux systèmes de culture en pente (ou sur sol interdisant la mécanisation) et dans des zones de culture où la compétition pour l'eau en saison sèche est forte. Il permettra aussi une interruption du cycle végétatif des lianes pérennes et autres adventices qui se seront immiscées dans la couverture végétale.

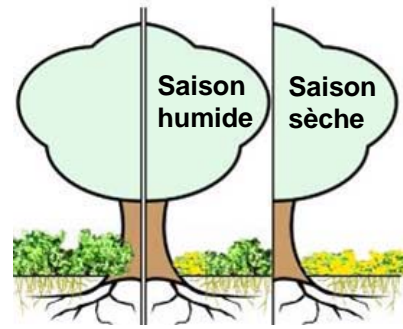


Figure 3 : Prototype ANeo

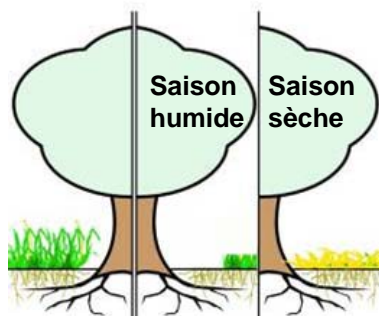


Figure 4 : Prototype AV

AV. Enherbement annuel naturel : même tactique de gestion que le prototype ANeo mais avec un enherbement naturel nécessitant un entretien par mécanisation régulière du couvert (débroussailleuse portée).

Prototype 'zero' herbicide

PNeo. Enherbement pérenne légumineuse : gestion de l'enherbement par une plante de couverture volubile pérenne (*Neonotonia wightii*) ne nécessitant pas d'intervention mécanique, détourage manuel des agrumes, destruction manuelle des adventices proscrites. Ce prototype est adapté notamment aux systèmes de culture en pente ou sur sol interdisant la mécanisation mais peut également être entrepris dans tous types de milieu physique.

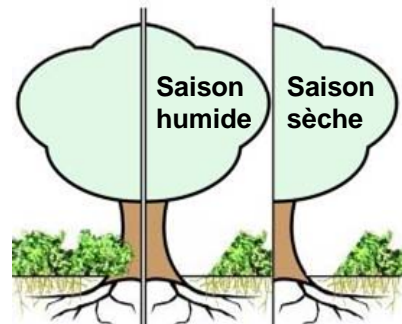


Figure 5 : Prototype PNeo

AV, ANeo et PNeo doivent permettre d'améliorer respectivement les prototypes témoins PV et GLY vis-à-vis de leur impact sur l'environnement (utilisation moindre d'herbicides) dans des conditions de mécanisation ou non. PNeo constitue une nouvelle pratique de gestion de l'enherbement sans recours aux herbicides. Le dispositif est donc composé de 5 prototypes (traitements) répétés 5 fois soit 25 parcelles élémentaires de 105 m² (comportant chacune 3 orangers cv Valencia greffé sur *Citrus volkameriana*). Les pratiques culturales et les niveaux d'intrants nécessaires au management des arbres ont été réalisés selon les recommandations actuellement préconisées par l'ASSOFWI² auprès des producteurs. Cependant, pour limiter les compétitions entre les enherbements des prototypes et les arbres, des contrôles ont été réalisés pour ajuster le cas échéant les niveaux d'intrants de chaque prototype (eau, fertilisant, traitements phytosanitaires) (voir rapport annuel 2009).

² ASSOFWI : association des producteurs de fruits de Guadeloupe

2. Analyse multicritère des performances des prototypes

2.1 Les indicateurs d'évaluation

Nos travaux participatifs (voir rapport annuel 2008 et 2009) nous ont permis de déterminer des critères d'évaluation de ces prototypes. Nous avons traduit ces critères en sept indicateurs (tableau 1) pour évaluer les effets directs et indirects du changement de pratiques. Cinq de ces indicateurs sont simples et directement reliés à des variables mesurées :

- L'indice de fréquence de traitement (IFT) calculé comme suit :

$$(\sum DA \times S^2 \text{ traitée}) / (DH \times S^2 \text{ parcelle})$$

Où DA est la dose appliquée sur la parcelle, DH la dose minimum homologuée par ha et S² la surface traitée et de la parcelle.

- La consommation en eau (I-Eau),
- La consommation en énergie (CED, Cumulative energy demand)³,
- Le coût de production (I-Coût),
- La main-d'œuvre nécessaire (I-MO).

Les deux autres indicateurs, performance de la culture de rente (I-PERF) et WMI (Weed Management Indicator), sont composites et ont agrégé plusieurs variables quantitatives et/ou qualitatives. Pour réaliser cette agrégation nous avons utilisé un système expert associé à la logique floue. Ce système expert a permis d'agréger et de hiérarchiser des variables d'origines différentes pour rendre compte d'un résultat facile à lire par les utilisateurs, sous la forme d'un score de 0 à 10, le score égal ou supérieur à 7 étant le score acceptable.

- L'indicateur composite I-PERF a agrégé deux variables agronomiques : la croissance et l'état sanitaire des arbres. La croissance des arbres a été évaluée par la mesure du diamètre des troncs exprimé en millimètres. L'état sanitaire a été évalué par un indicateur qualitatif sur une échelle de 0 à 10 d'état de santé de l'arbre. La note 0 a été attribuée à des arbres morts, la note 2 à des arbres en très mauvais état... la note 10 à des arbres en excellent état.
- L'indicateur de pression des prototypes sur l'environnement, Weed Management Indicator (WMI), a agrégé trois sous-indicateurs API, IPEST et NPI eux-mêmes composites.
- API (Agricultural Practice Impact) s'appuie sur les résultats de nos travaux réalisés en 2009 obtenus sur le même dispositif expérimental et qui ont évalué le niveau de perturbation du prototype sur l'agrosystème. API agrège trois variables, le nombre d'intervention (mécanique et chimique) sur la couverture du sol, le taux de couverture moyen du sol et la biomasse du couvert. Le nombre d'intervention sur la couverture est lié à un niveau de perturbation de l'agrosystème. Cette perturbation a été mesurée grâce à des bio-indicateurs : les acariens de la famille des Phytoseiidae (Acari:

³ Frischknecht R., Jungbluth N., *et al.*, 2003. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final reportecoinvent 2000, Swiss Centre for LCI. Duebendorf, Switzerland.

Mesostigmata) ; ceux-ci étant reconnus comme de très bons bio-indicateur car très sensibles aux perturbations de milieu.

- IPEST (Indicateur Pesticide de la méthode Indigo de l'Inra Colmar) évalue les risques de l'utilisation des pesticides sur les trois compartiments environnementaux (eau souterraine, eau de surface et dans l'air). Nous avons adapté IPEST au contexte des vergers d'agrumes notamment pour considérer les spécificités tropicales du lieu d'étude et de l'espèce cultivée non prévues par la version originale d'IPEST développée pour des conditions européennes de culture. Les modifications majeures ont porté sur l'ajustement du taux d'interception des biocides par les arbres lors du traitement, la distinction de deux périodes à risques (saisons sèche ou humide), l'augmentation de KH (constante de Henry) pour répondre au risque de volatilisation des biocides plus importante en climats tropicaux et la prise en compte des pluviométries réelles enregistrées.
- NPI (Nectar Provisionning Indicator) s'appuie sur les résultats de nos travaux réalisés en 2010 obtenus sur le même dispositif expérimental. Il évalue l'intérêt des pratiques de gestion de l'enherbement pour la lutte biologique par conservation et plus particulièrement pour la fourniture de nourriture alternative (nectar) aux auxiliaires des cultures par les prototypes (voir le détail de sa construction page 20).

Le poids de ces trois sous-indicateurs dans la construction de WMI a été décidé en appliquant les règles suivantes (figure 6) : la stabilité de la couverture du sol évaluée par API a été considérée comme primordiale dans le contexte tropical, notamment pour limiter les risques d'érosion. De ce fait, des conditions totalement défavorables d'API conduisent obligatoirement à un score ≤ 5 . Cependant, une condition totalement favorable d'API associée à des conditions totalement défavorables d'IPEST et de NPI conduisent aussi à un faible score (≤ 4). Au final, pour obtenir un score acceptable de WMI (>7), API doit être totalement favorable et NPI doit l'être également si IPEST ne l'est pas au moins partiellement. Seules les conditions totalement favorables des trois sous-indicateurs conduisent à un score maximum de 10 pour WMI.

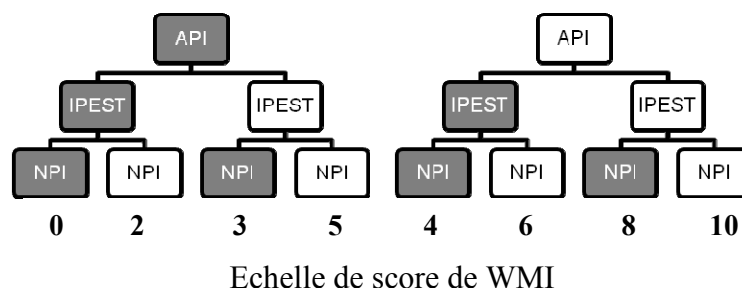


Figure 6. Arbre de décision de WMI conduisant à un score de 0 à 10. Les conditions défavorables des 3 sous-indicateurs (API, IPEST et NPI) sont représentées par les boîtes grises, les conditions favorables par les boîtes blanches.

Objectifs d'amélioration du système de culture*	Critères d'évaluation des objectifs d'amélioration*	Indicateur	Type d'indicateur	Type d'agrégation	Variables considérées	Unité des indicateurs	
Indicateurs de performance des prototypes							
Réduire les quantités de biocides utilisés	Critère 1 : Quantité de biocides utilisée	IFT ¹	Quantitative	aucun	Matière active, doses et surface traitée	Nombre de doses par ha	
Economiser l'eau sans pénaliser les arbres	Critère 2 : Quantité d'eau utilisée	I-Eau	Quantitative	aucun	Apport d'eau	m ³ par ha	
Rationaliser l'utilisation des énergies fossiles	Critère 3 : Dépense énergétique	CED	Quantitative	aucun	Consommation énergétique directe et indirecte du prototype (engrais, biocides, essence, transport...).	MJ par ha	
Diminuer les coûts de production	Critère 4 : Coût de production	I-Coût	Quantitative	aucun	Dépenses d'entretien du prototype (hors investissement et amortissement du matériel et de la plantation)	€ par ha	
Maintenir le niveau de main d'œuvre	Critère 5 : Quantité de main d'œuvre utilisée	I-MO	Quantitative	aucun	Quantité de main d'œuvre nécessaire à l'entretien du prototype	h par ha	
Minimiser les compétitions entre la couverture du sol et les arbres	Critère 6 : Croissance et santé des arbres	I-PERF	Qualitative	Arbre de décision	Diamètre du tronc, santé de l'arbre	Score 0 to 10	
Maintenir une couverture du sol pérenne pour limiter l'érosion	Critère 7 : Pérennité de la couverture du sol	WMI	API	Qualitative	Arbre de décision	Nombre d'interventions sur l'enherbement, taux de couverture du sol, Biomasse	Score 0 to 10
Choisir les biocides en fonction des impacts environnementaux	Critère 8 : Impact des biocides sur l'environnement		IPEST	Qualitative	Arbre de décision	Caractérisation du sol et de l'aménagement de la parcelle (13 variables), matériel et type de traitement (8 variables), Substance active (8 variables)	Score 0 to 10
Favoriser des habitats d'hébergement pour les auxiliaires des cultures	Critère 9 : Pérennité et qualité des habitats pour les auxiliaires		NPI	Qualitative	Arbre de décision	Traits fonctionnels des fleurs (6 variables), taux de couverture du sol, Richesse spécifique	Score 0 to 10

*Tableau 1. Objectifs d'amélioration et critères d'évaluation de la culture agrumicole en Guadeloupe. Transcription des critères d'évaluation en indicateurs. IFT: Indice de Fréquence de Traitement, CED: Cumulative Energy Demand, WMI: Weed Management Indicator, API: Agricultural Practice Impact, IPEST: Pesticide Indicator, NPI: Nectar Provisioning Indicator. * Objectifs et critères mis au point par les acteurs*

2.2 Echantillonnage, mesures et analyse des données

Pour permettre de calculer les indicateurs IFT, I-Eau, CED, I-Coût et I-MO, tous les intrants et les temps de main d'œuvre apportés aux prototypes ont été comptabilisés sur les 25 parcelles élémentaires et sur la durée de l'expérimentation (du 21 janvier 2008 au 31 décembre 2010). Pour le déclenchement des traitements, le suivi épidémiologique individuel de la totalité des arbres (75) a été réalisé tous les mois. Pour l'ajustement de la fertilisation, les analyses de sols (3 échantillons par parcelle élémentaire à 2 profondeurs 0-20 et 20-40 cm ; analyse du pH, N, OC, Ca, Mg, K et Na) ont été réalisées le 4 janvier 2008 et les 15 décembre 2008, 2009 et 2010. Les analyses de feuilles (1 échantillon de 40 feuilles x 3 arbres par parcelle élémentaire; analyse de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn, Cu and B) ont été réalisées les 10 novembre 2008, 2009 et 2010.

Les apports d'eau ont été différenciés en fonction du stress hydrique mesuré des arbres (voir rapport annuel 2009 pour les règles de décision). Les calculs de CED ont été réalisés avec le logiciel SimaPro® mobilisant les bases de données Ecoevent. CED a considéré l'ensemble des dépenses énergétiques directes et indirectes, transports des intrants à la parcelle compris. Les dépenses énergétiques des réseaux de distribution et de stockage de l'eau (retenue collinaire, durée d'amortissement >30 ans) ont cependant été négligés car l'ensemble du réseau fonctionne par gravité sans aucune autre demande énergétique. Pour I-Coût, le coût réel de chaque intrant a été considéré au prorata de la dose utilisée. Pour I-MO, une base horaire de 11.86 € a été retenue.

Pour I-PERF, l'état sanitaire des arbres et les mesures du diamètre des troncs (à 20 cm sous le point de greffe) ont été réalisés sur la totalité des arbres (75) le 31 janvier 2008 et le 8 novembre 2010.

Pour API, les densités de phytoseiidae dans les enherbements ont été mesurées mensuellement d'octobre 2008 à juillet 2009. Les taux de couverture du sol ont été estimés tous les 2 mois de juin 2008 à juin 2010, tandis qu'un échantillon de la biomasse a été prélevé au même moment.

Pour IPEST, les variables considérées ont concerné les caractéristiques de la parcelle et ses aménagements, la pluviométrie, les caractéristiques et la dose de chaque produit phytosanitaire utilisé, le type de couverture du sol au moment du traitement et les caractéristiques du matériel de traitement utilisé. Au total, 29 variables ont été nécessaires pour calculer IPEST.

Pour NPI, les plantes (et leur densité) composant l'enherbement de chaque prototype ont été identifiées de janvier 2008 à janvier 2010 (5 prélèvements). Chacune des plantes a ensuite été caractérisée selon ses traits floraux dont la fonction nourricière (fourniture de nectar pour les auxiliaires) a été avérée dans des publications scientifiques (voir tableau 7, page 22).

L'efficacité des prototypes a été mesurée par le rapport des consommations (I-Eau, CED, I-Coût et I-MO) par unité de croissance (mm de croissance du tronc). Cette efficacité a été mesurée pour l'ensemble des arbres (75). Des tests statistiques pour des données non paramétriques ont été réalisés (χ^2 , ANOVA (Kruskal-Wallis tests) et test U de Mann-Whitney pour la comparaison de moyenne) avec le logiciel R© pour évaluer des différences entre les valeurs des indicateurs d'évaluation des prototypes ainsi que des relations entre certaines variables.

2.3 Résultats : ajustement des niveaux d'intrants des cinq prototypes

Le tableau 2 détaille les quantités d'intrants apportés aux cinq prototypes, incluant l'essence qui a été utilisée pour les interventions motorisées. Pour compenser les compétitions pour l'eau subies par les arbres des quatre prototypes par rapport à ceux du prototype de référence GLY (voir rapport annuel 2009), nous avons dû effectuer des apports d'eau complémentaires : + 19 % pour PNeo, + 12 % pour PV et ANeo, et + 9 % pour AV. Au total et pour couvrir les besoins en eau des arbres, GLY a reçu 980 litres par arbre en 161 apports sur la durée de l'expérimentation (3 ans). La règle de décision pour compenser les stress hydriques mesurés sur les autres prototypes à conditionner le nombre d'apports supplémentaires, PNeo (+ 109 apports), ANeo (+ 94), PV (+ 87) et AV (+ 83). Les analyses de sols et de feuilles n'ont pas montré de carence ni de différence statistique de teneur des principaux éléments (N, P, K, matière organique) entre les cinq prototypes pour l'année considérée. La fertilisation a donc été maintenue identique entre eux. De même, les suivis épidémiologiques ont conduit à l'application de deux biocides par an (un insecticide et un fongicide) pour tous les prototypes, aucune maladie ou ravageur n'ayant été directement lié à un prototype en particulier.

	Fertilisant en kg (14-4-10)			Eau m ³ par an	Essence l par an	Herbicide l par an	Autres biocides kg par an
	année 1	année 2	année 3				
PV	171	325	582	5500	173	2.70	0.8
GLY	171	325	582	4900	0	6.10	0.8
AV	171	325	582	5355	142	2.70	0.8
ANeo	171	325	582	5490	0	3.85	0.8
PNeo	171	325	582	5825	0	0	0.8

Tableau 2 : Récapitulatif des intrants par ha (de janvier 2008 à décembre 2010).
Pour les consommations d'eau, d'essence et de biocides, une moyenne par an est donnée.

2.4 Résultats des indicateurs de performance

Le score d'I-PERF a varié de 3 (PNeo) à 10 (GLY) (tableau 3). Les tactiques annuelles de gestion de l'enherbement des prototypes AV, ANeo et GLY ont conduit à de meilleurs scores de I-PERF (≥ 7 , $p=4^{e-7}$), que les tactiques pérennes PV et PNeo. La performance de GLY a été expliquée par l'état de santé des arbres (14 arbres sur 15 ont la note maximale de 10) et par une croissance moyenne du diamètre des troncs de +180 %. Ces valeurs sont très supérieures à la croissance des arbres des autres prototypes : + 133 % pour AV, +128 % pour ANeo, +110 % pour PV, et +80 % pour PNeo. Les arbres de GLY ont eu une croissance significativement supérieures à ceux de AV, ANeo et PV qui eux-même ont eu une croissance significativement supérieure à ceux de PNeo (GLY>AV=ANeo=PV>PNeo).

Les prototypes se sont différenciés d'une part par la consommation en eau (I-Eau), du fait des apports supplémentaires effectués sur les prototypes autres que GLY, et d'autre part par la consommation directe d'essence pour les prototypes PV et AV, dont le contrôle de l'enherbement a été mécanisé. Pour ces prototypes, la moitié des dépenses énergétiques totales (CED) a été liée à l'essence consommée directement par la mécanisation ; 7433 MJ par ha et par an pour PV et 6133 MJ par ha et par an pour AV soit 43 MJ par litre d'essence consommée, les autres dépenses étant liées aux consommations indirectes en énergie. Pour

les prototypes non mécanisée GLY, ANeo, et PNeo, les dépenses énergétiques ont été impactées par l'emploi du glyphosate, à hauteur de 1096 MJ par ha et par an pour AV à 2 473 MJ par ha et par an pour GLY. Pour tous les prototypes, CED lié à l'utilisation des fertilisants a été de 3602 MJ par ha et par an (dont 70 % lié à N) et 1300 MJ par ha et par an pour le transport des intrants.

Les valeurs d'I-MO ont été directement liées aux types d'entretien de la plante de couverture. Les entretiens manuelles (PNeo) ou mécanisés (AV et PV) ont nécessité beaucoup de main-d'œuvre, entre 2 et 4 fois plus que pour GLY et ANeo. Les valeurs élevées d'I-Coût ont été directement liées au coût de la main-d'œuvre. Ce coût a représenté 68 % d'I-Coût pour PNeo contre 31 % pour ANeo le moins exigeant. En excluant ces coûts de main d'œuvre ($I-Coût - I-MO \times 11.86 \text{ h}^{-1}$), les coûts liés à l'utilisation de l'eau ont été ensuite les plus élevés représentant de 50 à 70 % selon le prototype. Le coût de l'essence a ensuite pénalisé les prototypes AV et PV tandis que le coût des autres intrants (fertilisants et biocides, herbicides compris) n'ont représenté en moyenne que 250 € par ha et par an.

L'indicateur IFT (nombre de traitements de biocides) a été le plus élevé pour le prototype GLY, qui représentait la pratique courante des agriculteurs, avec 5.56 doses par ha et par an. L'indicateur IFT a été inférieur pour les quatre autres prototypes, jusqu'à 1.33 pour PNeo. Cet IFT de 1.33 correspondant aux biocides nécessaires pour maîtriser les parasites, il a été commun à tous les prototypes. Le nombre de doses d'herbicides a donc différencié les prototypes entre eux. Le prototype GLY a eu l'IFT spécifique herbicide le plus élevé, avec 4.23 dose par ha et par an. Par rapport à cette valeur, PNeo a permis d'économiser 4.23 doses d'herbicide, AV et PV 3.00 doses, alors que ANeo n'a économisé que 1.23 dose.

	I-PERF (0 to 10)	IFT (Nombre de doses)	I-Eau (m ³)	CED (MJ)	I-Coût (€)	I-MO (h)
PV	5.00	3.21	5500	13633	1919	126
GLY	10.00	5.56	4900	7566	1143	60
AV	8.40	3.21	5355	12300	1875	128
ANeo	7.20	4.33	5490	6733	1017	41
PNeo	3.00	1.33	5825	5066	2069	199

Tableau 3: Grille d'analyse multicritère de la performance des cinq prototypes. Les valeurs moyennes de l'indicateur I-PERF considèrent la période entière de l'expérimentation (de janvier 2008 à décembre 2010) tandis qu'une valeur moyenne par ha et par an est donnée pour tous les autres indicateurs.

Nous avons mesuré l'efficience de consommation en intrants des prototypes par rapport à la croissance en diamètre des arbres au terme des trois années d'expérimentation. En considérant la valeur des indicateurs I-Eau, CED, I-Coût, et I-MO par unité de croissance (1 mm), nous avons trouvé que le prototype GLY a été significativement le plus efficace, alors que PNeo a été le moins efficace (tableau 4). ANeo est statistiquement plus efficace que AV et PV pour CED, I-Coût et I-MO et égal pour I-Eau ; ce qui a permis d'identifier ce prototype comme la meilleure alternative à GLY en terme d'efficience.

	I-Eau	CED	I-Coût	I-MO
PV	42.3 b	5.5 c	0.93 c	2.0 b
GLY	23.3 a	1.9 a	0.52 a	0.6 a
AV	36.9 b	4.5 c	0.96 c	1.9 b
ANeo	40.7 b	2.6 b	0.55 b	0.6 a
PNeo	64.7 c	2.9 b	1.35 d	4.2 c

Tableau 4: Efficience de consommation en intrants des prototypes par rapport à la croissance en diamètre des arbres au terme des trois années d'expérimentation. I-Eau: l par mm, CED: MJ par mm, I-Coût: € mm, I-MO : mn mm. Les moyennes suivies d'une lettre différente sont statistiquement différentes (P<0.05; Wilcoxon rank sum test)

2.5 Résultats des indicateurs de risque sur l'environnement

Les meilleurs scores de l'indicateur WMI ont été obtenus par les deux prototypes ANeo et PNeo, qui utilisent la légumineuse *Neonotonia wightii* (tableau 5) ($WMI \geq 7$, $p = 7.5 \times 10^{-11}$), contrairement aux prototypes PV, GLY et AV, qui sont composés d'une végétation spontanée. L'indicateur API, dont le poids dans la construction de WMI est très important (figure 6), a pénalisé les prototypes PV, GLY et AV ; notamment à cause du nombre élevé d'opérations culturales sur le couvert végétal du sol (herbicides ou fauchages). Ce nombre d'interventions a eu un impact direct sur les bio-indicateur (phytoseiidae) puisqu'en moyenne 1.4 phytoseiidae a été trouvé dans PV, GLY et AV contre 13.5 dans ANeo et PNeo (tableau 6) mais aussi sur le taux moyen de couverture du sol qui a varié de 60 % (GLY) à 100 % (PNeo) et la quantité de biomasse produite 2 fois plus élevés entre GLY et PNeo.

PNeo et ANeo sont statistiquement les prototypes assurant la plus grande stabilité de la couverture du sol, GLY la moins bonne. L'indicateur IPEST, dont les scores ont varié de 6.3 (ANeo) à 7 (PNeo), n'a pas différencié les prototypes entre eux (tableau 5). Les biocides utilisés et leurs doses d'utilisation ont conduit principalement à des risques sur le compartiment environnemental 'eau de surface' d'IPEST. Ces risques ont été expliqués principalement par la proximité du cours d'eau par rapport à la parcelle (10 m) ainsi que par la pente (10 %).

Les scores de l'indicateur NPI des gestions annuelles AV (7.4) et ANeo (7.7) sont significativement supérieurs à celui de GLY (5.7). La différence de score de PNeo (5.9) par rapport à celui de ANeo (7.7), dont l'enherbement est pourtant principalement constitué par la même plante de couverture (*N. wightii*), a été expliquée par une faible richesse spécifique (nombre d'espèces végétales) mesurée dans la couverture du sol, 5 espèces pour PNeo contre 10 pour ANeo (tableau 6). Ce comportement a été expliqué par la réactivation du stock de semence après le désherbage chimique annuel prévu dans la tactique de gestion de l'enherbement de ANeo. Pour GLY, même si ce prototype a favorisé une richesse spécifique importante (12), les qualités florales des espèces du couvert et le faible taux de couverture du sol (60%) lié au nombre important d'opérations culturales ont conduit au moins bon score de NPI (5.7).

Prototype	WMI	API	IPEST	NPI
		(0 to 10)		
PV (control 1)	5.3 b	4.7 b	6.8 a	7.0 ab
GLY (control 2)	3.7 c	1.6 c	6.7 a	5.7 b
AV	5.2 b	4.0 b	6.8 a	7.4 a
ANeo	7.4 a	8.5 a	6.3 a	7.7 a
PNeo	7.3 a	8.6 a	7.0 a	5.9 ab

Tableau 5. Pression sur l'environnement des prototypes de gestion de l'enherbement : scores de l'indicateur WMI et de ses trois sous-indicateurs API, IPEST, et NPI. Scores moyens calculés pour la période complète d'expérimentation (3 ans). Les moyennes suivies d'une lettre différente sont statistiquement différentes ($P < 0.05$; Wilcoxon rank sum test)

Prototype	Densité de phytoseiidae	Richesse spécifique (végétal)	Biomasse (végétal) $t\ ha^{-1}$	Couverture du sol %
PV	1.4 b \pm 1.5	14 a \pm 2	2 b \pm 0.8	85 bc \pm 6
GLY	1.5 b \pm 4.5	12 ab \pm 3	1.88 b \pm 0.7	60 c \pm 18
AV	1.2 b \pm 2.6	13 a \pm 3	1.87 b \pm 0.5	84 bc \pm 8
ANeo	13.5 a \pm 12.7	10 b \pm 4	3.3 a \pm 1.2	97 a \pm 2
PNeo	13.4 a \pm 9.1	5 c \pm 1	3.6 a \pm 1.1	100 a \pm 0

Tableau 6 : Impacts des prototypes sur les bio-indicateurs (phytoseiidae), la richesse spécifique végétale, la biomasse et le taux de couverture du sol. Les moyennes ont été calculées pour la période complète d'expérimentation (3 ans). Les moyennes suivies d'une lettre différente sont statistiquement différentes ($P < 0.05$; Wilcoxon rank sum test)

3. Reconception participative du système de culture agrumicole

Nos travaux d'amélioration du système de culture se sont inscrits dans un cadre de reconception des systèmes à dire d'experts, dit de prototypage, formalisée par Vereijken (1997)⁴. Cette méthodologie prévoit une phase d'expérimentation des prototypes construits en ferme pilote, néanmoins et en concertation avec les acteurs, nous avons expérimenté nos prototypes en station expérimentale. D'une part, pour éviter à des producteurs de prendre des risques : les compétitions pour l'eau et les éléments fertilisants ont été pointées dans le cadre des contraintes de reconception du système et d'autre part, parce que le système de culture étudié (culture pérenne) rend difficile l'implantation de dispositifs multiples en milieu réel notamment à cause de coûts trop élevés et délais de plantation.

Ces choix ont été possibles par la proximité d'un dispositif d'expérimentation reconnu par les acteurs et au cœur de la zone traditionnelle de culture des agrumes en Guadeloupe. De plus, ce dispositif a permis d'acquérir des données expérimentales, des valeurs seuils pour la construction des indicateurs d'évaluation notamment, dont l'obtention aurait été plus contraignante via un dispositif expérimental multi-local, chez les producteurs. Cette étude comparée des prototypes a été réalisée selon des principes d'une approche systémique

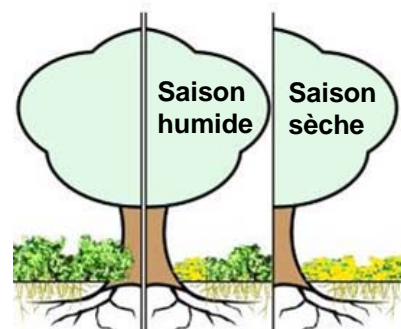
⁴ Vereijken P., 1997. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms, Eur. J. Agron. 7, 235-250.

reposant notamment sur l'établissement d'un jeu de règle de décision susceptibles de résoudre les problèmes préalablement identifiés (Meynard et al., 2001)⁵. Globalement, la pluviométrie totale durant l'expérimentation aurait pu être suffisante pour couvrir les besoins des arbres mais sa mauvaise répartition a engendré des déficits par rapport aux recommandations techniques pour cette culture (FAO, 2010). Le pilotage de l'irrigation par les capteurs de déplacement (voir rapport annuel 2009) a permis de détecter les stress hydriques subis par les arbres mais les apports d'eau supplémentaires n'ont pas été suffisants pour les compenser au moment opportun et au final ont abouti à des différences de croissances des arbres des prototypes. Les résultats de l'indicateur de performance (I-PERF) des deux prototypes caractérisés par une gestion pérenne de l'enherbement (PV et PNeo) ont confirmé le fort l'impact de ces compétitions pour l'eau sur la croissance et l'état général des jeunes arbres ; alors même que les apports d'eau supplémentaires ont atteint pour PNeo le seuil maximal accepté par les acteurs (20 %).

Les tactiques annuelles de gestion de l'enherbement (AV et ANeo) ont eu les effets souhaités et ont permis de limiter la compétition pour l'eau aux moments cruciaux, la croissance et l'état général des jeunes arbres ont été acceptables (IPERF >7). Ces résultats nous ont montré l'importance de l'établissement et de la validité des règles de décision pour manager ce type d'expérimentation. Dans ce type d'expérimentation, la présence d'un témoin de la pratique courante des producteurs (ici GLY) est indispensable. La caractérisation de ce témoin a été permise par un diagnostic agronomique préalable⁶ et a permis les comparaisons entre les prototypes par rapport à des références reconnues par les acteurs.

4. Proposition d'une pratique de gestion de l'enherbement durable pour les vergers d'agrumes guadeloupéens

Une grille d'analyse multicritère construite sur la base de critères d'évaluation déterminé par les acteurs (Le Bellec et al., 2011)⁶ a permis de comparer les performances de cinq mode de gestion de l'enherbement des jeunes vergers d'agrumes en Guadeloupe sur leur durabilité. Cette analyse a montré les mauvaises performances globales de la pratique de gestion de l'enherbement actuellement préconisée, basée sur une gestion mécanisée de l'enherbement spontanée. Parallèlement, nos résultats ont montré l'efficacité technique et économique de la pratique de gestion de l'enherbement actuellement en cours en Guadeloupe, basée sur une gestion chimique et régulière de l'ensemble de l'enherbement. Par contre, les risques qu'elle fait encourir à l'environnement font d'elle une pratique peu durable. Notre analyse multicritère nous permet aujourd'hui de préconiser une nouvelle tactique de gestion de l'enherbement des jeunes vergers basée sur une gestion annuelle de la couverture du sol via l'implantation d'une légumineuse.



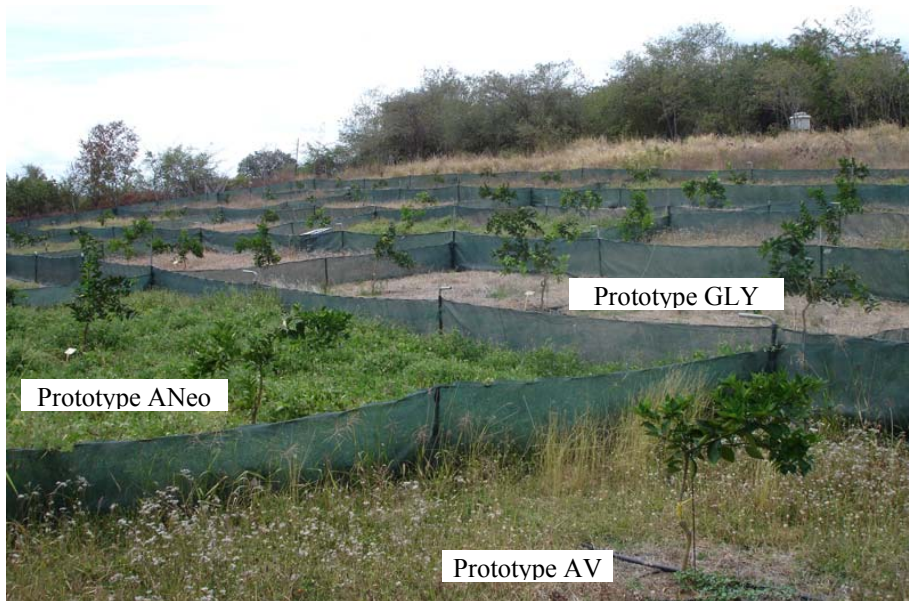
Nouvelle tactique de gestion proposée (ANeo)

⁵ Meynard J., Doré T., Habib R., 2001. L'évaluation et la conception de systèmes de culture pour une agriculture durable. Acad. Agric. Fr. 87, 223-236.

⁶ Le Bellec F., Cattan, P., Bonin M., Rajaud, A., 2011. Building a typology of cropping practices from comparison to a common reference: first step for a relevant cropping system re-designing process – Results for tropical citrus production. Fruits, 66, In press.

Cette pratique culturale permet de répondre aux contraintes actuelles de la gestion de l'enherbement des vergers guadeloupéens dont les difficultés de mécanisation des parcelles et la réglementation phytosanitaire en cours avaient conduit les producteurs dans une impasse technique.

Cette pratique permet aussi d'offrir des services écologiques (lutte contre l'érosion, lutte biologique par conservation...) indispensables à la durabilité de l'agrosystème. L'appropriation des prototypes, leur transfert et leur validation devront être réalisés dans une deuxième phase du travail par les relais du développement (ASSOFWI, IT²...). Ce travail s'est en effet inscrit dans une dynamique récursive de reconception pas-à-pas des systèmes de culture devant faire face à des contraintes techniques, politiques ou sociétales.



*Dispositif expérimental (Cirad Vieux-Habitants) à 1 an : 5 prototypes*5 répétitions (25 parcelles élémentaires de 105 m² séparées par une ombrière de 1 m de haut)*



Oranger de 2.5 ans associé au prototype ANeo

B - CONSTRUCTION ET EVALUATION DE SYSTEMES DE CULTURE INNOVANTS - MANGUIER

1. Evaluation de six variétés de mangue : bilan de 4 années d'expérimentation sur un mode de production biologique

Les surfaces cultivées de manguiers en Guadeloupe restent encore faibles. Paradoxalement ceci s'explique par la popularité de la variété 'Julie'. Celle-ci est en effet très fréquemment plantée dans les jardins ayant pour conséquence, qu'en saison de production (de juin à août), les ventes de mangues sur les marchés sont limitées. Par ailleurs, le manguiers est une espèce rustique, facile à produire dans le contexte guadeloupéen (peu de problèmes phytosanitaires, adaptation à de nombreuses zones écologiques en Basse-Terre comme en Grande-Terre) et offre donc une bonne opportunité de culture de diversification aux producteurs. Face à ce constat, un projet a été initié en Guadeloupe dont l'objectif est de promouvoir une filière rentable par la production décalée dans le temps (par rapport au standard 'Julie') et d'une mangue de qualité. Il s'agirait de développer une production qui se positionnerait sur le marché avant et après la mangue 'Julie' et qui répondrait à des normes de production respectueuses de l'environnement (d'Agriculture Biologique par exemple).

Des études préalables ont montré que seule la gestion de l'enherbement des vergers (utilisant généralement des herbicides chimiques) semblait être une contrainte majeure au développement de ce nouveau système de culture. Une expérimentation a donc été mise en œuvre fin 2005 sur le site du CIRAD Vieux-Habitants pour évaluer l'effet de deux modes de gestion de l'enherbement sur six variétés de mangues (Haden, Keitt, Irwin, Nam doc man, Pomme, Julie) sur la croissance, sur la productivité et sur la précocité/tardiveté de la production des arbres. Les prototypes de gestion de l'enherbement sont : 1/ un 'enherbement spontané' et fauché 4 fois par an et 2/ l'implantation d'une plante de couverture pérenne (*Neonotonia wightii*, Fabaceae) dont le service recherché est la maîtrise des adventices. Pour les deux prototypes, le désherbage autour du tronc des manguiers est manuel pour répondre au cahier des charges de l'agriculture biologique (pas d'herbicide chimique). Le choix des variétés repose sur la recherche d'un étalement de la période de production par rapport au témoin 'Julie'. La parcelle expérimentale s'étend sur une surface de 1.5 ha en 10 blocs randomisés (2 arbres/variétés/bloc ; 5 répétitions par prototype).



Mangue Julie



Mangue Nam doc man



Mangue Irwin

Les deux modes de gestion de l'enherbement ont permis de maîtriser les adventices du verger sans herbicide. Les coûts d'implantation et d'entretien des deux prototypes s'équilibrent en 2^{ème} année puis deviennent supérieurs pour la modalité 'enherbement spontané'. En effet, la première année des coûts plus importants sont notés pour 'Neonotonia' (liés à l'implantation de la plante de couverture) mais deviennent ensuite moindres que ceux du prototype 'enherbement spontané' qui supporte en permanence des coûts liés à la mécanisation. A ce stade de l'expérimentation, nous n'observons pas de différence significative de perte de récolte liée au mode de gestion de l'enherbement. Par contre, nous observons un impact significatif sur la croissance des troncs des manguiers quelque soit la variété. Les arbres associés à 'Neonotonia' ont un développement moindre, probablement consécutif à une compétition pour l'eau. En effet, les apports d'eau n'ont pas été différenciés en fonction de la modalité. La première année de production significative (2010) s'est étalée de février à septembre permettant de répondre à nos attentes d'étalement et de positionnement de la production de ces nouvelles variétés par rapport à celle de la mangue 'Julie'. Nous n'observons pas d'impact du mode de gestion de l'enherbement sur cet étalement. Aucun autre impact notable n'a été observé (phytosanitaire...), cet essai doit être poursuivi pour évaluer les effets à long terme de ces nouveaux modes de gestion. Le mode de production biologique pour le manguiers en Guadeloupe semble cependant être possible.



*Verger de manguiers avec les deux modalités de gestion de l'enherbement
1/ à base de Neonotonia wightii (à gauche) et 2/ enherbement naturel spontané*

AXE 2 : DIFFUSER LES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES, LES PRATIQUES NOVATRICES ET LES OUTILS D'ÉVALUATION AGRI-ENVIRONNEMENTAUX

1. PERMANENCE TECHNIQUE, ACCUEIL DE GROUPES ET PUBLICS

Les permanences hebdomadaires se sont tenues régulièrement avec la collaboration de l'ASSOFWI et ont permis de renseigner les producteurs demandeurs (problèmes techniques, projets de plantation, projets de reconversion banane/espèces de diversification...).

2. ACTIONS DE FORMATIONS SUPERIEURES

Le 18/10, membre (F. Le Bellec) du comité de thèse de Hajer Sahraoui (en thèse à l'UMR CBGP).

Le 20/10, 3 heures de cours ont été assurées par F. Le Bellec sur la conception de systèmes agrumicoles durables aux élèves du Master HortiMET de Sup'Agro Montpellier.

3. APPUIS AUX PRODUCTEURS ET AUX FILIERES

Notre équipe peut intervenir en appui à la structure de développement de la filière (ASSOFWI) lorsque des compétences élargies doivent être mobilisées. Aucune sollicitation n'a été enregistrée en 2010.

4. JOURNEES TECHNIQUES/REUNIONS DE TRAVAIL/COMITE DE PILOTAGE

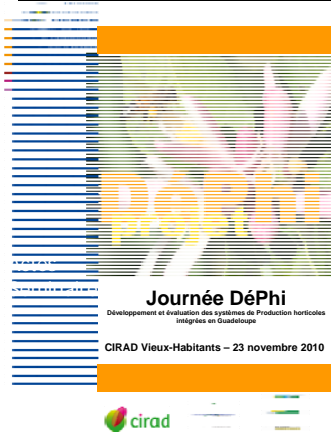
07/04/2010 : Mini-séminaire évaluation des systèmes de polyculture-élevage organisé par le EPLEFPA, l'INRA et la Chambre d'agriculture de Guadeloupe

Deux membres de l'équipe de l'unité Horsyst (F. Le Bellec et A. Rajaud) sont intervenus dans ce séminaire notamment pour partager notre expérience sur les méthodologies d'évaluation mises en œuvre par le projet DéPhi. Voici le résumé de notre intervention intitulée '**Méthode participative de reconception et d'évaluation de systèmes de culture innovants : le cas des pratiques agrumicoles en Guadeloupe**' :

La formalisation des étapes de conception des systèmes de culture, l'effort croissant d'accompagnement des agriculteurs au cours de l'agrotransfert et le développement d'outils d'évaluation multicritère, constituent trois objets majeurs de la recherche en agronomie, sur lesquels les travaux sont aujourd'hui bien avancés. Nous faisons l'hypothèse que les résultats encore peu satisfaisants en termes de diffusion des innovations sur le terrain agricole s'expliquent par un manque d'intégration de ces trois objets de recherche. C'est pourquoi nous proposons de formaliser le cadre d'une méthode de conception-évaluation de systèmes de culture, fondée sur les méthodes de prototypage, laquelle méthode aura pour originalité de planifier des échanges systématiques entre les différents acteurs concernés : chercheurs, techniciens et producteurs au premier chef, mais également les acteurs intervenant à l'échelle du territoire (institutions publiques, groupements de producteurs, parcs naturels...). En outre, de façon à inscrire l'approche d'un développement « durable »

au sein même de la démarche de conception-évaluation, nous proposons d'adjoindre à ce cadre un outil d'évaluation multicritère, conçu spécifiquement à l'occasion de cette méthode, mais suffisamment flexible pour permettre une adaptation à différents contextes. Enfin, cette méthode sera réactive face aux évolutions rapides du cadre écologique et socio-économique en choisissant de procéder par re-conception de systèmes de culture, pas à pas, sur une parcelle en production, plutôt que de chercher à concevoir un système de culture totalement novateur à chaque nouvelle application de la méthode. Ce dernier point sera particulièrement utile à son application pour les cultures pérennes. Nous nous proposons, lors de ce séminaire, de présenter cette méthode de re-conception nommée DISCS pour 'A participatory method to reDesign and assess Innovative Sustainable Cropping Systems'. Nous l'illustrerons par un cas d'application : la re-conception du système de culture agrumicole en Guadeloupe et détaillerons la méthodologie de construction participative d'un indicateur d'aide à la décision (indicateur 'condition de travail'), à l'usage des producteurs.

23/11/2010 : Séminaire 'Journée DéPhi'



Nous avons organisé un séminaire de restitution de nos activités de recherche & développement le 23/11/2010. Vingt-cinq personnes étaient présentes dont les représentants ou membres des institutions ou structures suivantes : INRA, DAF, Conseil Général, Conseil Régional, SICA Alizés, Verte Vallée, CFPPA, ASSOFWI, IGUAFLHOR et CIRAD. Les présentations suivantes ont été faites (les actes du séminaire sont joints en annexe) :

1. Analyse multicritère de prototypes de gestion de l'enherbement en jeune verger d'agrumes - Fabrice Le Bellec
2. Développement d'un indicateur d'évaluation de la fonction nourricière (fourniture de nectar) des enherbements des vergers d'agrumes - Fabrice Le Bellec/ Pauline Dubois
3. Evaluation de 6 variétés de mangue : bilan de 4 années d'expérimentation sur un mode de production biologique - Corinne Calabre
4. Réduction de l'usage des pesticides en culture d'ananas cas des herbicides - Bernard Dole
5. Projet de reprise du site du CIRAD de Vieux-Habitants – Laure de Roffignac

25/11/2010 : Comité de pilotage du projet DéPhi

Le comité de pilotage du projet DéPhi s'est déroulé le 25/11/2010, en présence de Marianne Grandisson-Jocher (IGUAFLHOR), Laure de Roffignac et Achille Debranche (ASSOFWI), Philippe Godon, Fabrice Le Bellec, Corinne Calabre, Philippe Rickewaert et Guilhem Lacombe (CIRAD). Célia Cote-Colisson (DAF) et Alex Dandou (Conseil Régional), présents lors du comité technique du 23/11, se sont excusés de ne pas pouvoir venir au comité de pilotage.

5. DEVELOPPEMENT D'OUTILS D'AIDE A LA DECISION

Les indicateurs d'évaluation construits dans le cadre de notre projet DéPhi ont vocation à devenir des outils d'aide à la décision à destination des producteurs. Durant l'année 2010, nous avons construit un indicateur de la fonction nourricière des enherbements en vue d'évaluer leur capacité à contribuer à la lutte biologique par conservation des auxiliaires des cultures. Nous présentons cet indicateur dans cette section, sachant qu'un article⁷ a été soumis à la revue *Weed Research* en vue de sa validation scientifique et que cet indicateur a été mobilisé dans l'analyse multicritère des prototypes de gestion de l'enherbement (voir page 6).

NPI, un indicateur du potentiel nourricier de la végétation pour les agents de lutte biologique nectarivores basé sur les traits floraux fonctionnels

5.1 De l'intérêt d'un indicateur de ressources florifères basé sur des traits floraux

Avec le durcissement de la législation en vigueur concernant l'emploi des pesticides et l'accroissement de la demande pour des produits agricoles exempts de résidus de produits phytosanitaires, les producteurs se tournent de plus en plus fréquemment vers les services écologiques fournis par des organismes auxiliaires. C'est le cas de la lutte biologique qui utilise des organismes antagonistes des ravageurs au lieu de pesticides chimiques.

La lutte biologique par gestion et conservation des habitats est de loin la plus intéressante sur le long terme. Elle consiste à favoriser la présence et le développement des populations d'auxiliaires, naturellement présentes, en leur fournissant des conditions de vie idéales. L'apport de nourriture complémentaire, de type pollen et nectar, est un point clé dans la mise en place de cette méthode de lutte. En effet, la plupart des agents de lutte biologique ont besoin de ce complément d'alimentation pour une longévité et une activité optimales. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes focalisés sur les ressources en nectar, source indispensable de sucres et d'eau pour les prédateurs et surtout les parasitoïdes. La plupart d'entre eux n'étant pas des nectarivores spécialistes, leur morphologie ne leur permet pas d'aller chercher le nectar au cœur des fleurs. Ils ont besoin d'un accès facile au nectar. La ressource doit être également présente en quantité suffisante et elle doit être aisément repérable. Comment évaluer simplement et rapidement la disponibilité, l'attractivité et l'accessibilité des ressources nectarifères profitables aux agents de lutte biologique ?

Classiquement, on adopte une approche taxonomique en se basant sur des plantes indicatrices, réputées pour leur production abondante de nectar, et dont on a identifié les insectes visiteurs. Toutefois, l'approche taxonomique a des limites. Elle nécessite de connaître la flore locale. Elle dépend de l'existence de références concernant la production de nectar. Enfin, elle ne permet pas de comparer différents habitats (dans le cas d'espèces végétales endémiques). Certains auteurs, tels que Feld *et al.* (2009)⁸ soutiennent qu'il est

⁷ Le Bellec F., Dubois P., Sarthou J.P., Malézieux E., 2010. Assessing the nectar provisioning capacity of weeds to beneficial arthropods using plant functional traits: the case of tropical orchards. *Weed Research*, Submitted (12/2010).

⁸ Feld CK, da Silva M, Sousa JP, de Bello F, Bugter R, Grandin U et al. (2009) Indicators of biodiversity and ecosystems services: a synthesis across ecosystems and spatial scales. *Oikos* 118, 1862-1871.

préférable de se fier aux traits structurels et fonctionnels des plantes plutôt qu'à leur taxonomie. C'est cette approche fonctionnelle que nous avons choisie.

La simplicité d'utilisation étant une condition essentielle à la construction d'un indicateur, nous avons sélectionné un ensemble de traits floraux, démontrés pertinents dans des publications précédentes, mais faciles à observer à l'œil nu, par des non scientifiques et des non spécialistes.

L'impact de ces traits floraux sur l'alimentation des prédateurs et parasitoïdes nectarivores a été exprimé sous la forme d'un « score floral » (FS). Deux autres variables ont été considérées : la richesse spécifique (SR, nombre d'espèces végétales observées) et le pourcentage de couverture moyen (GC). Afin de réaliser une analyse multicritère, nous avons agrégées ces trois variables au sein du « Nectar Provision Indicator » (NPI). Cet indicateur a été construit sur la base d'un système expert utilisant la logique floue.

5.2 Méthodologie

NPI a été testé au champ, en milieu tropical, dans un verger d'agrumes, avec différents prototypes de gestion de l'enherbement (PV, GLY, ANeo, AV et PNeo voir pages 4 et 5) ; un prototype témoin supplémentaire a été ajouté à cette expérimentation, il s'agit d'une modalité de gestion de l'enherbement dite de fauchage tardif (1 fauche par an appelé LMV). Les scores NPI obtenus par ces différents enherbements, à l'issue de plus de deux années de gestion différenciée (2008-2010), nous ont permis de vérifier la sensibilité de notre indicateur ainsi que sa pertinence. Ce test au champ nous a également permis d'évaluer les effets potentiels du « désherbage » sur les réserves de nourriture des auxiliaires, ce qui n'avait jamais été étudié en détails jusque là.

5.2.1 La caractérisation des couverts végétaux

Les observations ont été réalisées entre janvier 2008 et janvier 2010, sur l'ensemble du dispositif, la veille de chaque opération d'entretien.

La caractérisation quantitative. Dans chaque micro-parcelle de 105 m², on a mesuré la richesse spécifique moyenne (SR), le pourcentage de couverture moyen (GC) ainsi que le pourcentage de couverture par espèce. A partir de ce dernier, on a calculé la contribution de chaque espèce dans la composition de l'enherbement.

La caractérisation qualitative. Nous avons retenus 4 traits floraux 'Groupe', 'Morpho', 'Couleur' et 'Taille' chacun se déclinant en 2 ou 3 variantes (tableau 7). La sélection des traits floraux s'est basée sur la littérature et sur la facilité d'observation.

L'impact de ces traits floraux a été exprimé sous la forme d'un score floral (FS):

$$FS = \sum_{(1 \leq j \leq 9)} [\sum_{(1 \leq i \leq n)} (\% \text{ composition par l'espèce } i * \text{coefficient du trait floral } j)]$$

Où j est le j^{ième} trait floral, i est la i^{ième} espèce végétale et n le nombre maximal d'espèces

Le pourcentage de composition par espèce représente la contribution d'une espèce à la composition de l'enherbement. Le coefficient attribué à chaque variante traduit son impact sur la disponibilité, l'accessibilité ou l'attractivité du nectar (figure 7). Les coefficients d'intérêt du trait fonctionnel ont été choisis sur la base des valeurs disponibles dans la littérature ou sur celle de notre propre expertise.

Indications	Traits floraux	Variantes	Coeff.	Impact(s)
Disponibilité du nectar	Groupe (GROUP)	Dicot	2	Produisent du nectar généralement en quantité
		Monocot	0.25	Anémophiles en général donc peu ou pas de nectar
Accessibilité du nectar	Morphology florale (MORPHO)	Accès libre (Ouvrte/Capitulée)	2	Accès facile au nectar même sans pièces buccales adaptées
		Accès limité (Papilionacées/tubes prof. ≤2mm)	1 or 0.25 if GROUP=dicots	Accès fonction de la taille et de la force du visiteur
		Réservé aux spécialistes (Tubes >2mm)	0.5	Accès réservé aux spécialistes ayant des pièces buccales adaptées
Attractivité de la fleur	Couleur de la fleur (COLOUR)	Pale (blanche, rose, jaune...)	2 or 0.25 if GROUP=dicots	Attire davantage les nectarivores généralistes facultatifs
		Vive (violet, bleu, rouge...)	0.5	Attire davantage les nectarivores spécialistes
	Taille (SIZE)	Grande (ø ≥ 15mm)	2	Le temps de prospection des visiteurs diminue avec l'accroissement de la taille de la fleur
		Petite (ø < 15mm)	0.5 or 0.25 if GROUP=dicots	

Tableau 7 : Traits floraux et leurs variantes retenus pour la construction du NPI

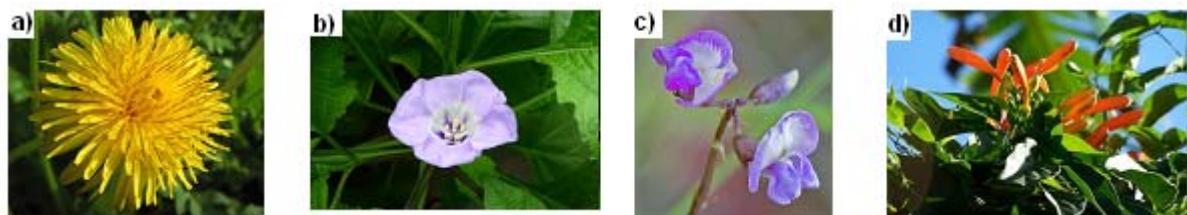


Figure 7 : Illustration des variantes offertes par le trait floral 'Morpho'. a) capitulée et b) ouverte sont des exemples de la variante 'Libre accès', c) cette papilionacée est une représentante de la variante 'Accès limité', d) ces fleurs tubulaires ne sont accessibles qu'aux nectarivores spécialistes 'Accès réservé aux spécialistes'

5.2.2 La construction de l'indicateur NPI

Afin de réaliser une analyse multicritère des trois variables entrant dans notre système (Score floral (FS), Richesse spécifique (SR) et taux de couverture (GC)), nous avons choisi de les agréger au sein d'un indicateur unique NPI (Nectar Provision Indicator). Cet indicateur a été construit sur la base d'un système expert utilisant la logique floue.

Pour chacune des trois variables d'entrée, nous avons défini deux sous-ensembles, l'un favorable (F), l'autre défavorable (D). Deux fonctions décrivent l'appartenance à l'un et l'autre de ces sous-ensembles:

$$\text{Appartenance à F} = (0.5 \times (\sin(\frac{V-a}{b-a}) + 0.5)),$$

$$\text{Appartenance à D} = (0.5 \times (\cos(\frac{V-a}{b-a}) + 0.5)),$$

où V est la valeur observée de la variable, "a" et "b" les valeurs seuils des sous-ensembles, "a" le minimum (appartenance totale à D) et "b" le maximum (appartenance totale à F).

Les valeurs seuils employées dans les fonctions d'appartenance ont été prises dans la littérature ou choisies suivant notre propre expertise (tableau 8). Lorsqu'une variable prend une valeur comprise entre les seuils, elle appartient de façon partielle aux deux sous-ensembles F et D à la fois.

Conditions	Variables d'entrée		
	Richesse spécifique (SR)	Couverture du sol (GC)	Score Floral (FS)
Favorable	>=13 espèces	>=90 %	= à 100
Défavorable	<=4 espèces	<=65 %	= à 0
Logique floue	de 4 à 13	de 65 à 90 %	de 0 à 100

Tableau 8: Valeurs seuils définissant les bornes des sous-ensembles Favorable (F) et Défavorable (D) pour chacune des variables d'entrée 'Score floral' (FS), 'Pourcentage de couverture du sol' (GC) et 'Richesse spécifique' (SR).

Les trois variables d'entrée ('FS', 'SR' and 'GC') ont été agrégées au sein du NPI, toutes avec le même poids, suivant leur domaine d'appartenance et suivant un ensemble de règles de décision (tableau 9). Selon ces règles, quand 2 variables sur 3 sont favorables (F), la troisième fait varier le score NPI de 5 à 10. Inversement quand 2 variables sur 3 sont défavorables (D), la troisième fait varier le score NPI de 0 à 3. Pour calculer NPI, la logique floue a été associée à un système expert basé sur le degré d'appartenance aux sous-ensembles F et D et sur les règles de décision (tableau 9) :

NPI = conclusion des règles de décision x min (degré d'appartenance des prémisses de chaque règle) / somme des min (degré d'appartenance des prémisses de chaque règle)

SR	GC	FS	Conclusions
F	F	F	10
F	F	D	5
F	D	F	5
F	D	D	3
D	F	F	5
D	F	D	3
D	D	F	3
D	D	D	0

Tableau 9 : Règles de décision et leurs conclusions donnant des valeurs à NPI selon le degré d'appartenances des variables d'entrée FS (Score Floral), GC (couverture du sol) et SR (Richesse spécifique) à leurs sous-ensembles Favorables (D) et défavorables (D)

Des analyses de sensibilité ont été réalisées afin de mesurer la réaction des variables de sortie en réponse aux variations des variables d'entrée. Ces analyses permettent de mesurer les conséquences d'une éventuelle erreur de notation ou de saisie sur les résultats finaux du NPI.

5.3 Principaux résultats

5.3.1 Caractérisation générale de l'enherbement

Au total, 73 espèces végétales ont été recensées sur l'ensemble du dispositif expérimental. En moyenne, sur l'ensemble des observations, les différents prototypes de gestion se sont révélés significativement différents en termes de couverture du sol (GC), de richesse spécifique (SR) et de contribution des différents traits floraux à la composition du couvert végétal (tableau 10).

Certains des prototypes de gestion comme PNeo (100±0% GC; 5±1 SR) et GLY (60±18% GC; 12±3 SR) ne parvenaient pas à combiner une couverture du sol efficace et une grande richesse spécifique. Les prototypes ANeo, AV, PV et LMV offraient un meilleur compromis. D'une manière générale, quelque que soit le prototype de gestion, la végétation arborait majoritairement des fleurs pales (blanches, rose pale, jaunes) et de petite taille (<15mm de diamètre). La contribution de chaque trait floral à la composition du couvert végétal dans les différents prototypes est présentée dans le tableau 10. Ce sont les traits floraux GROUPE (dicot/monocot) et MORPHO (accès libre/limité/réservé aux spécialistes) qui ont réellement permis de différencier les prototypes de gestion entre eux. Le prototype LMV avait la plus forte proportion de monocotylédones (55%) devant le prototype GLY (44%). Les prototypes AV, PV et GLY étaient quant à eux significativement plus riches en fleurs présentant un accès libre au nectar.

Prototypes	Traits floraux				Moyenne GC %	Moyenne SR	Moyenne de NPI
	GROUP 'Dicots'	MORPHO Accès libre	COULEUR Pale	TAILLE Grande			
GLY	56 bc ±12	39 a ±12	93 b ±3	1 b ±1	60 c ±18	12 bc ±3	5.67 b ±0.64
AV	75 b ±11	40 a ±6	69 c ±7	1 ab ±7	84 bc ±8	13 a ±3	7.40 a ±0.44
Aneo	96 a ±2	8 c ±4	95 a ±3	1 b ±0	97 a ±2	10 ac ±4	7.74 a ±0.93
PV	62 bc ±7	31 a ±4	76 c ±8	6 a ±2	85 bc ±6	14 a ±2	6.98 ab ±0.46
PNeo	96 a ±1	5 c ±3	96 a ±4	1 b ±0	100 a ±0	5 c ±1	5.88 ab ±0.31
LMV	45 c ±5	18 b ±7	95 b ±2	19 a ±3	89 b ±5	12 c ±3	7.40 a ±0.42

Tableau 5 : Contribution de chacune des variantes reconnues favorables aux agents de lutte biologique : 'Dicots', 'Pale', 'Large' et 'Accès libre' à la composition du couvert végétal des différents prototypes PNeo, ANeo, AV, PV, GLY et LMV. Le pourcentage de couverture moyen par prototype (GC) et la richesse spécifique moyenne (SR) entrent dans le calcul du NPI

5.3.2 Scores NPI

Les différences quantitatives, d'un prototype à l'autre, en termes de pourcentage de couverture (GC), richesse spécifique (SR) et contribution des traits floraux GROUPE et MORPHO, se sont répercutées sur les scores NPI. L'attribution des scores NPI nous a ainsi permis de classer les prototypes selon leur intérêt pour l'alimentation en nectar des auxiliaires. Il en résulte que les prototypes ANeo (NPI=7.74), AV (7.40) et LMV (7.40) étaient significativement plus intéressants que les prototypes PV (6.98), PNeo (5.88) et GLY (5.67) (tableau 10). Afin de tester la sensibilité de notre indicateur NPI aux variations des variables d'entrée (FS, GC et SR) nous avons fait varier successivement les variables 'FS' and 'GC' de 10% et 'SR' de 1 point. A chaque fois que l'on faisait varier une des trois variables, les deux autres étaient successivement bloquées en situations défavorables, moyennes et favorables. L'analyse de sensibilité a montré qu'une légère variation des variables d'entrée (plus ou moins 10%) n'impactait que peu les scores de NPI, excepté lorsque les valeurs prises par la variable se rapprochaient des conditions idéales définies dans le tableau 8 (Figure 8).

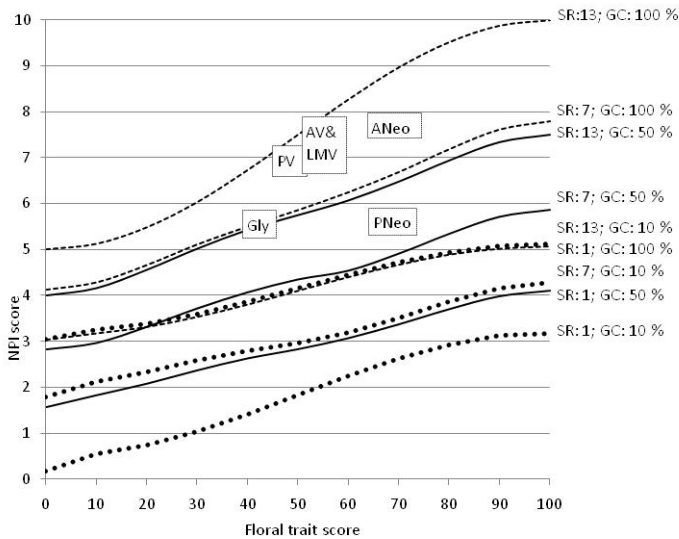


Figure 8: Analyse de sensibilité de l'indicateur NPI, évolution théorique des scores de NPI en fonction de la variation des variables d'entrée FS (score floral) / SR (Richesse spécifique) (1, 7 and 13) / GC (couverture du sol) (10, 50 and 100 %). Les étiquettes (AV, LMV, PV, Gly, ANeo et PNeo) positionnent les performances des différents prototypes.

5.4 Discussion/conclusion

Le classement des prototypes suivant les scores de NPI s'est avéré être cohérent et en accord avec la littérature et les résultats obtenus par Mailloux *et al.* en 2010⁹. Cette étude avait démontré, avec les mêmes prototypes de gestion et dans le même verger, les effets néfastes de la fauche et des herbicides sur l'abondance et la diversité des acariens prédateurs Phytoseiidae, pollinivores et nectarivores facultatifs. Leur classement des prototypes, basés sur les densités et indices de diversité des Phytoseiidae s'apparente au nôtre, excepté pour la modalité PNeo, plus mal classée dans notre cas. Ceci s'explique probablement par le fait que les Phytoseiidae sont plus sensibles à la structure de la végétation qu'à la présence de nourriture autre que les proies. Toutefois, les Phytoseiidae bénéficient aussi de l'apport de nourriture complémentaire et en ce sens, la similarité de nos deux classements conforte la pertinence de notre indicateur.

Notre système expert reste modulable et ouvert à toutes modifications que pourraient justifier des avis d'experts. Il serait possible d'étendre notre système à d'autres traits floraux, tels que la durée et la période de floraison, des critères peu pertinents sous les tropiques, où une majorité des plantes fleurissent une grande partie de l'année et où l'hiver est absent, mais qu'il est important de prendre en compte en climats tempérés.

Conformément aux objectifs que nous nous étions fixés, NPI est un outil d'aide à la décision simple et pertinent, utilisable par des non spécialistes (et non scientifiques). Il peut permettre de choisir entre différents modes de gestion de l'enherbement alternatifs le plus respectueux des ressources alimentaires des prédateurs et parasitoïdes. En effet, avec les règles de décision que nous nous sommes fixées, NPI favorise davantage les habitats dans lesquels la

⁹ Mailloux J, Le Bellec F, Kreiter S, Tixier MS & Dubois P (2010) Influence of ground cover treatment on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupean citrus orchards. *Experimental applied acarology* 52, 275-290.

biodiversité est durablement préservée. C'est un résultat que nous assumons totalement puisque que nous souhaitons sensibiliser davantage les utilisateurs finaux du NPI (techniciens, producteurs, particuliers...) à l'importance de la conservation de la biodiversité fonctionnelle dans les agrosystèmes.

6. DIFFUSION DE L'INFORMATION & PUBLICATIONS

L'information technique et scientifique a été diffusée en fonction du public visé (les articles sont annexés, les noms d'auteurs de l'unité HortSys de Guadeloupe sont soulignés).

Producteurs guadeloupéens. Les producteurs ont eu accès à l'information technique et scientifique grâce aux journées et réunions techniques organisées sur site (voir page 19). De plus, le partenariat avec 'Les Antilles Agricole', permet de diffuser chaque trimestre en Guadeloupe et en Martinique, des informations techniques sur les cultures de diversification fruitière.

Le Bellec F. 2010. Diversification fruitière. Bien choisir l'espèce fruitière à planter. *Les Antilles agricoles* (22) : 28-30.

Le Bellec F., Mauléon H., 2010. Diversification fruitière. Lutte biologique : utilisation des nématodes entomopathogènes contre les jakos. *Les Antilles agricoles* (21) : 20-21.

Le Bellec F. 2010. Diversification fruitière. Cultiver et transformer la vanille de son jardin créole. *Les Antilles agricoles* (20) : 26-27.

Calabre C., Le Bellec F. 2010. Diversification fruitière. Histoire d'une collection unique aux Antilles : le manguiier. *Les Antilles agricoles* (19) : 24-25.

Grand public. Afin de rayonner à l'échelle nationale et internationale, un site web a été développé : <http://caribfruits.cirad.fr>. Ce site a toujours autant de succès et les statistiques parlent d'eux même : 124.368 visiteurs entre décembre 2009 et décembre 2010 soit une progression de 25 % par rapport à 2009, sachant qu'entre 2008 et 2009 nous avons déjà noté une progression de 33 % ! Ce thème des 'fruits tropicaux' est décidément très accrocheur sur la toile ! Plus dans le détail, les français (80.093 métropole) arrivent largement en tête des consultations, suivi des canadiens (5.084), des belges (3.640), des antillais (Guadeloupe : 2.523, Martinique : 2.063), des pays de l'Afrique du nord (5.100), des américains des USA (2.011) et des suisses (1.996) au total 190 pays sont représentés.



Voici les 4 pages les plus consultées :

http://caribfruits.cirad.fr/fruits_des_antilles (6.35 % des consultations)

http://caribfruits.cirad.fr/production_fruitiere_integree/fiches_synthetiques/le_greffage_des_arbres_fruitiers (3.32 % des consultations)

http://caribfruits.cirad.fr/fruits_des_antilles/maracuja_fruit_de_la_passion (2.97 % des consultations)

http://caribfruits.cirad.fr/fruits_des_antilles/pomme_cannelle (2.84 % des consultations)

Communauté scientifique : Plusieurs articles et communications ont permis de diffuser nos résultats scientifiques :

Le Bellec F., Cattan, P., Bonin M., Rajaud, A., 2011. Building a typology of cropping practices from comparison to a common reference: first step for a relevant cropping system re-designing process – Results for tropical citrus production. *Fruits*, **66**, In press.

Mailloux J., Le Bellec F., Kreiter S., Tixier M.S., Dubois P., 2010. Influence of ground cover treatment on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupean citrus orchards. *Experimental applied acarology* **52**, 275-290.

Le Bellec F., Damas O., Tournebize R., Vannièrè H., Ozier Lafontaine H., Jannoyer M., 2010. How to manage weeds with a reduced used of herbicides: Cover crops in Mandarin Orchard in Guadeloupe. In : 28th International Horticultural Congress, August 22-27, 2010, Lisboa, Portugal.

Le Bellec F., Mailloux J., Dubois P., Rajaud A., Kreiter S., Bockstaller C., Tixier M.S., Malézieux E., 2010. Phytoseiid mites (Acari) are bio-indicators of agricultural practice impact on the agroecosystem functioning: the case of weed management in citrus orchards. In : Wery Jacques (ed.), Shili-Touzi I. (ed.), Perrin A. (ed.). Proceedings of Agro 2010 : the XIth ESA Congress, August 29th - September 3rd, 2010, Montpellier, France.

7. PARTENARIATS ET COOPERATION REGIONALE

Des relations et partenariats durables sont effectifs depuis quelques années avec de nombreux organismes extérieurs et notre unité. Il en résulte une adéquation entre nos activités et la demande des socioprofessionnels.

Les producteurs

Relations étroites avec l'ASSOFWI (association des producteurs de Fruits en Guadeloupe), la SICA Alizé (organisations professionnelles en pré reconnaissance) et l'IGUAFLHOR pour les échanges techniques et la définition des opérations de recherche et de développement.

Le développement

Permanences techniques communes avec l'ASSOFWI tous les lundis sur le site de Vieux-Habitants et définition des opérations de recherche et développement. Le bureau du technicien de l'ASSOFWI est hébergé par le CIRAD sur ce même site.

La recherche

Poursuite des partenariats avec l'INRA Guadeloupe (UR ASTRO), l'INRA Colmar (UMR1121 INPL/ENSAIA/INRA), SUP'AGRO Montpellier (UMR CBGP), le PRAM (Pôle Régionale Agro-écologique de Martinique) et l'UAG (UFR Sciences Exactes et Naturelles).

Les services de l'Etat

Appuis ponctuels aux services de l'Etat.

La diffusion

Partenariat avec 'Les Antilles Agricole', magazine trimestriel pour faciliter la diffusion d'une partie de l'information technique (voir les publications 2010 en annexe).

Actes du séminaire du 23/11/2010**Articles publiés**

- Bien choisir l'espèce fruitière à planter. *Les Antilles agricoles* (22) : 28-30.
- Lutte biologique : utilisation des nématodes entomopathogènes contre les jakos. *Les Antilles agricoles* (21) : 20-21.
- Cultiver et transformer la vanille de son jardin créole. *Les Antilles agricoles* (20) : 26-27.
- Histoire d'une collection unique aux Antilles : le manguier. *Les Antilles agricoles* (19) : 24-25.
- Influence of ground cover treatment on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupean citrus orchards. *Experimental applied acarology* **52**, 275-290.
- How to manage weeds with a reduced used of herbicides: Cover crops in Mandarin Orchard in Guadeloupe. 28th International Horticultural Congress, August 22-27, 2010, Lisboa, Portugal.
- Phytoseiid mites (Acari) are bio-indicators of agricultural practice impact on the agroecosystem functioning: the case of weed management in citrus orchards. Proceedings of Agro 2010 : the XIth ESA Congress, August 29th - September 3rd, 2010, Montpellier, France.