



PROJET CANN'ELEC GUADELOUPE

Programme de recherche de la phase 1

Denis Pouzet et Caroline Lejars

Montpellier, Août 2009

*Variété WI79460,
sélectionnée à Barbade
pour la fibre.*

*Culture de 22 mois non
versée.
26.7% de fibre
Tiges fines, tallage
important*



*Cliché extrait d'une présentation WISCCBS au colloque Guyana, 21 au 27
octobre 2007*

Contacts : denis.pouzet@cirad.fr
caroline.lejars@cirad.fr

TABLE DES MATIERES

AVANT PROPOS	3
I. SUIVI DE LA CONTAMINATION PAR LA CHLORDECONE	4
1. OBJECTIFS	4
2. Programme de recherche.....	4
21. Valorisation des données acquises.....	4
22 : Actions spécifiques	4
221 Echantillonnage.....	5
222 Suivi du polluant.....	5
3. Calendrier d'exécution et de résultats.....	6
II. ITINERAIRE TECHNIQUE.....	7
1. Objectifs.....	7
3. Programme.....	7
31. Les actions de recherche.....	7
32. La sélection variétale	8
33. Calage des cycles de culture.....	8
34. Élaboration des itinéraires techniques	8
331 La récolte.....	8
332 La fertilisation	9
4. Calendrier et résultats attendus.....	9
III. APPROCHE ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE	11
1. Objectifs.....	11
2. Le programme	11
21. Système d'information technico-économique et environnemental.....	11
211. Référentiel technique, économique et environnemental	12
212 Outils de calcul des coûts de production et du bilan carbone	12
22. Valorisation des résidus de récolte	12
33. Conception et évaluation des modes de paiement	13
331 Définir les modalités de paiement.	13
332 Définir une formule et évaluer les revenus planteurs moyens espérés.....	13
333. Définir une formule intégrant des « coûts environnementaux »	13
34 Estimation du gisement et organisation de la récolte	14
4. Calendrier et résultats attendus.....	14
IV. QUALITE DE LA BIOMASSE	16
1. Objectifs.....	16
2. Programme.....	16
21. Introduction	16

22. Méthodologie	17
221. Développement des bases spectrales (année 1 et 2)	17
222. Transfert des bases spectrales sur site (année 3).....	17
3. Calendrier et résultats attendus.....	18

TABLEAUX

Tableau 1 : Budget prévisionnel des analyses chlordécone	5
Tableau 2 : Calendrier des activités chlordécone.....	6
Tableau 3 : Marges de progrès pour la production de biomasse.....	9
Tableau 4 : Calendrier des activités itinéraire technique.....	10
Tableau 5 : Calendrier des activités économiques et environnementales.....	14
Tableau 6 : Calendrier des activités « qualité ».....	18
Tableau 7 : Précisions analytiques attendues	18

AVANT PROPOS

A la suite à la réunion de Pointe-à-Pitre du 15 juin 2009, présidée par la cellule Europe de la Guadeloupe, qui portait sur le projet Cann'Elec, il nous a été demandé d'apporter les modifications suivantes au projet d'origine :

- Limitation de la durée du projet à une première phase d'une durée de 2 à 3 ans maximum au lieu des 5 ans proposés. Nous avons opté pour une première phase de 30 mois reconductible. Le programme de recherche a été axé, comme requis, sur les principaux obstacles à la mise en route d'une filière agro-industrielle biomasse énergie électrique.
- Inscription, dans cette première phase, des études sur le devenir de la molécule de chlordécone, initialement programmées en fin de projet.

Ces modifications sont prises en compte dans le cadre d'une actualisation de l'étude ODEADOM / CIRAD figurant en **annexe 9** (*Etude de faisabilité d'une unité pilote de valorisation énergétique de la biomasse cannière en Guadeloupe. Partie II: Programme de recherche*).

Les informations relatives aux dispositifs expérimentaux, aux modalités de mesures, aux moyens à mettre en œuvre, humains (encadrement, main d'œuvre, missions) comme techniques (équipement, surfaces, budget)n'ont pas été reprises. Elles peuvent être consultés dans le rapport d'origine (*annexe 9 Partie II*).

Les seules données budgétaires sont relatives au volet chlordécone qui a été entièrement modifié par rapport à la version d'origine.

I. SUIVI DE LA CONTAMINATION PAR LA CHLORDECONE

1. Objectifs

Le projet vise à mettre en valeur les sols pollués à la chlordécone, en y cultivant de la biomasse dédiée à la production d'électricité. Il convient de s'assurer que cette nouvelle filière agro-industrielle ne présente pas de risque de concentration et de diffusion de la molécule polluante. Les recherches portent donc sur la quantification de la présence de la molécule dans les principales étapes de la filière, du sol aux résidus industriels.

Le programme repose sur les connaissances acquises en matière de pollution à la chlordécone, et sur la recherche novatrice du devenir de la molécule dans la phase de combustion.

2. Programme de recherche

21. Valorisation des données acquises

La chlordécone a fait l'objet de nombreuses études conduites par le CIRAD et l'INRA en Guadeloupe et en Martinique. Les connaissances acquises aujourd'hui portent sur l'évaluation de la pollution dans les sols et, pour ce qui nous intéresse, son devenir dans la canne à sucre. Ces recherches ont conduit à une cartographie de la pollution à l'échelle de la sole bananière en fonction des types de sol (INRA) et pour les principales exploitations (Chambre d'Agriculture).

Le diagnostic d'exploitation permet d'objectiver et de hiérarchiser les risques de pollution des parcelles qui entreront dans la filière canne énergie. Il repose sur des enquêtes permettant de collecter tout ou partie des informations suivantes :

- Type(s) de sol
- Historique de l'utilisation de la molécule entre 1970 et 1992 (nom commercial : Kepone™ ou Curlone™)
- Modalités d'application : dose (en principe 30g de produit commercial par pied), fréquence/périodicité (systématique tous les 6, 12 ou 18 mois ou par avertissement déclenché par des inspections de souche).
- Rotations culturales (monoculture, jachère, canne à sucre...).
- Durée de vie de la plantation (4-5 ans jusqu'à 8 ans).
- Travail du sol, profondeur.

Il est pratiquement réalisé sur l'exploitation de Fromager dont les sols les plus pollués se trouvent dans la partie basse. Ces résultats seront complétés par des enquêtes et des analyses de sol lorsqu'elles n'ont pas déjà été effectuées, afin de mieux caractériser les gisements de la ressource en biomasse.

22 : Actions spécifiques

Les études en cours concernent la migration de la molécule entre le sol et la canne à sucre. Les recherches de polluants résiduels dans les filières sont limitées au sucre et au rhum. Aucune étude n'a été entreprise à notre connaissance dans le cadre de la filière bagasse énergie représenté par la CTM, qu'il s'agisse des cendres de combustion ou des fumées.

Les actions conduites dans le cadre du projet concernent donc principalement la recherche de la molécule polluante ou de ses dérivés chimiques, dans les cendres et dans les fumées. La recherche d'éventuelles relations sol plantes spécifiques aux Poacées autre que la canne

à sucre (Espèces du groupe *Saccharum* : *spontaneum*, *Erianthus*, *Miscanthus*) et des *Pennisetum* sp., ne seront entreprises que dans la mesure où leur intérêt énergétique est démontrée.

221 Echantillonnage

Nous nous placerons dans les conditions de pollution maximales afin que les résultats obtenus ne risquent pas de minimiser les risques de pollution. Les échantillons de plante destinés à l'analyse ne concerneront donc que la base de tiges prélevées sur les zones où les sols présentent un niveau élevé de chlordécone. La dilution pondérale associée à cet échantillonnage sera systématiquement mesurée (rapport entre le prélèvement et la biomasse totale). Les échantillons de biomasse totale stabilisée seront conservés en vue d'éventuels contrôles (cendre/fumée). Les deux grands types de sols seront représentés dans l'échantillonnage (andolol et nitisol).

L'objectif principal, qui est de caractériser les polluants dérivés de la chlordécone dans la filière énergie, implique sur une collaboration étroite avec les industriels. Les sources de cendres de cannes issues de zones polluées impliquent en effet une traçabilité de l'origine des cendres. Les études pourront être entreprises en étudiant les cendres des distilleries approvisionnées à partir des zones polluées. Le témoin cendre non sera prélevé au niveau des distilleries de Marie-Galante, île qui est réputée exempte de chlordécone.

Nous envisageons par ailleurs de reproduire en laboratoire les conditions d'incinération correspondant à la gamme possible de combustion de la biomasse dans les turbogénérateurs.

222 Suivi du polluant

Les analyses de résidus dans les cendres et les fumées en fonction des conditions thermiques seront réalisées dans un laboratoire spécialisé dont l'identification en cours.

Les analyses de fumée concernent les furanes (hexachlorobenzène ou HCB) qui sont les molécules produites par la combustion de la chlordécone. Le laboratoire susceptible de réaliser un tel dosage reste à identifier. Le LDA-26 (laboratoire d'analyse de la Drome, qui est accrédité COFRAC pour la molécule) que nous avons contacté, ne réalise pas actuellement de telles analyses mais peut envisager de le faire à court terme.

L'expérimentation sera conduite avec 20 échantillons constitués par la base des tiges de 2 variétés prélevés sur 2 types de sols avec 5 répétitions.

Les analyses porteront sur les teneurs en chlordécone des plantes, les teneurs en chlordécone des cendres et les teneurs en chlordécone et en HCB des fumées. Nous prévoyons 5 températures d'incinération (800 à 1200 °C tous les 100°C). Le budget prévisionnel est indiqué Tableau 1 :

Tableau 1 : Budget prévisionnel des analyses chlordécone

Échantillons	Nombre	Analyse	Coût unitaire €	Total en €
Plante	20	Chlordécone	85	1700
Cendres	100	Chlordécone	85	8500
Fumées	100	HCB	225	22500
Total arrondi				33000

Ce budget est approximatif dans la mesure où le coût analytique unitaire relève d'une estimation « à dire d'expert ». Le coût réel dépend en effet des modalités de préparations qui seront à réaliser avant analyse. Ces modalités en pourront être estimées qu'après mise à disposition des échantillons.

3. Calendrier d'exécution et de résultats

Le calendrier prévisionnel de ce volet de l'expérimentation est indiqué dans le Tableau 2 avec les principaux résultats attendus.

Tableau 2 : Calendrier des activités chlordécone

	Actions	Trimestres					Résultats appliqués attendus
		1	2	3	4	5	
Chlordécone	Inventaire des connaissances						Impact local, orientation des essais
	Analyse des plantes						Caractérisation de la biomasse produite
	Analyse des cendres						Caractérisation des cendres
	Analyse des fumées						Caractérisation des fumées
	Analyses de Poacées non canne						Caractérisation du matériel fibreux

La caractérisation des cendres vis-à-vis du polluant conditionne en partie les itinéraires techniques et leurs coûts. En l'absence de pollution, les cendres pourront être restituées sur les parcelles de production. Le maintien de la fertilité minérale (hors azote) sera alors possible sans apports d'engrais en compensation aux exportations de la biomasse. Dans le cas contraire, il faudra prévoir un processus de dépollution et de stockage des cendres ainsi qu'une fertilisation minérale complémentaire. Ce résultat serait cependant positif pour l'environnement car une concentration du polluant dans les cendres contribuerait à la dépollution des sols.

Les fumées ne posent pas un problème du même ordre. En cas de pollution, celle-ci devrait être peu importante du fait des dilutions. Des dispositifs de captage des furanes en sortie de chaudière devraient en outre permettre de résoudre le problème.

II. ITINERAIRE TECHNIQUE

1. Objectifs

Rappelons qu'il n'existe pas aujourd'hui de référentiel technique associé à la biomasse cultivée (1) entièrement dédiée à l'énergie (2) susceptible d'alimenter un dispositif industriel tout au long de l'année et (3) utilisant la totalité des composantes de la plante. La production cannière dédiée au sucre est en effet une production saisonnière, contraintes par des périodes de maturation. Les filières mises en place n'ont que très rarement valorisé la partie lignocellulosique qui est soit brûlée, soit laissée au sol ou utilisée partiellement comme sous-produit. Le projet vise à proposer, dans un délai de 30 mois, une première ébauche d'itinéraires techniques répondant à ces trois exigences.

3. Programme

31. Les actions de recherche

Le programme consacré aux itinéraires techniques se subdivise en trois actions principales :

- Sélection des variétés répondant aux exigences qualitatives et quantitatives propres à rentabiliser une production de biomasse dédiée à la production d'électricité (voir **annexe 9 Partie I, § II**) ;
- Définition des cycles de culture (périodes de plantation, âge au moment de la récolte) pour étaler la production sur l'année ;
- Mise au point de la fertilisation et des modalités de récolte qui permette d'exporter la totalité de la production (voir **annexe 9 Partie I, § III-3 et III-4**).

Les problématiques d'enherbement ne seront pas abordées. Elles sont traitées localement pour la canne à sucre. Or, les cannes fibreuses sont réputées pour être plus vigoureuses que la canne à sucre (voir **annexe 9 Partie I, § III-5**). La fermeture du couvert est plus rapide du fait d'une capacité de tallage supérieure. Nous disposons cependant en cas de problèmes des appuis du CTCS Guadeloupe et du malherbologue du CIRAD (Pascal Marnotte).

Les itinéraires techniques seront évalués en collaboration avec le volet économie environnement afin de minimiser leur impact sur le milieu et optimiser leur rentabilité. Le niveau de référence pour évaluer les résultats obtenus est celui du système cannier actuel dans la région du projet (voir **annexe 9, Partie I, § III-1**).

Le programme vise aussi à acquérir des connaissances sur l'élaboration des composantes énergétiques de la biomasse. Peu de choses sont en effet connues sur les variations du rendement énergétique en fonction :

- Du matériel végétal (espèces, variétés), ce qui conduit à la sélection ;
- De l'âge de la culture, ce qui conduit à la détermination des cycles de culture ;
- Des conditions climatiques, ce qui débouche sur la modélisation (collaboration avec La Réunion qui permet de disposer d'une gamme importante de conditions pédoclimatiques) ;
- Des interactions entre le matériel végétal et le milieu.

Ces acquisitions de connaissances sont indispensables à la compréhension de l'élaboration de l'énergie produite. Elles permettent d'envisager l'extrapolation des résultats obtenus sur l'exploitation du Fromager à d'autres conditions agro climatiques comme celles notamment

de Marie Galante. Elles débouchent sur une proposition de thèse sur l'évolution des composantes énergétiques avec l'âge. Cette formation se fera en collaboration étroite avec Jean-François Martiné (CIRAD-Réunion), qui étudie par ailleurs les modalités d'allocation de la biomasse produite aux différentes composantes lignocellulosique des structures de la canne à sucre.

32. La sélection variétale

La vingtaine de variétés fibreuses, pré-sélectionnées dans les collections du CIRAD Guadeloupe ont été transférées sur le site du Fromager courant mai 2009. Nous y ajouterons les 6 cultivars fibreux les plus performants de Barbade début 2010. D'autres introductions sont programmées sur la base de 5 à 10 variétés par an.

La collection sera enrichie progressivement par les espèces fourragères qui ont été introduites en Guadeloupe (*Pennisetum sp...*).

Le matériel en collection sera évalué pour sa croissance et son développement. Les meilleures entrées feront l'objet de tests pour quantifier leurs caractéristiques (vitesse de couverture, aptitude à la repousse, rendement, production, capacité énergétique...).

Nous estimons que les tests porteront en moyenne sur une vingtaine de variétés en première année et 10 variétés les années suivantes. Le matériel sera évalué sur une base de deux ans (en vierge puis en première repousse).

Une évaluation finale des résultats obtenus à l'issue du projet permettrait d'envisager un schéma de sélection spécifique pour l'amélioration de la biomasse, notamment la partie ligno-cellulosique de celle-ci.

33. Calage des cycles de culture

Il s'agit de mesurer, au cours du cycle, l'évolution quantitative et qualitative des composantes de la biomasse qui contribuent au rendement calorifique. L'étude portera sur les deux meilleures variétés issues des sélections précédentes avec pour témoin le cultivar R570 qui est la référence des modèles de croissance. L'étude se déroulera sur deux cycles de 12 mois (canne plantée et première repousse). Un nouvel essai sera mis en place tous les ans pour tester de nouvelles variétés.

Le dispositif expérimental proposé est commun avec celui en cours de mise en place par l'équipe de modélisation de La Réunion. Nous serons ainsi en mesure de disposer d'un modèle adapté à la Guadeloupe.

34. Élaboration des itinéraires techniques

Le bilan des connaissances concernant l'élaboration de systèmes de culture de biomasse est indiqué en **annexe 9** (*Partie I, § III-3, III-5 et III-5*).

De nombreux problèmes, dont ceux de la mécanisation de la récolte et de l'enherbement, relèvent d'une mise au point technique. Ils seront abordés avec des appuis ciblés de spécialistes, dans le cadre d'une assistance technique. Par contre, le problème de la fertilisation azotée, très lié aux consommations d'énergie fossile et aux émissions de GES est abordé par une expérimentation spécifique.

331 La récolte

Un test de confirmation de nos hypothèses de travail a été réalisé avec l'appui de la CUMA « côte au vent » sur l'exploitation du Fromager. Ce test nous a permis de démontrer la faisabilité de la récolte totale avec une coupeuse traditionnelle de canne à sucre.

Des mises au point seront développées avec les professionnels pour préciser les réglages et les vitesses d'avancement de la récolteuse mécanique et les coûts.

Nous prévoyons un suivi des essais de la Chambre d'Agriculture, sur la récolte de la biomasse résiduelle de la filière sucre. Les informations récoltées nous permettront de préciser les modalités de collecte de la ressource pour un usage énergétique et sa valeur économique (*voir § III de ce rapport*).

332 La fertilisation

Il s'agit (1) d'adapter la fertilisation à la production exportée en ajustant le conseil en cours et (2) de rechercher de possibles économies en fertilisation azotée. Nous envisageons ainsi :

- L'élaboration d'une base de données référençant :
 - Les teneurs minérales moyennes des principales Poacées retenues pour la culture ;
 - Les productions de matière sèche associées.
- La mise en place d'un dispositif simple de contrôle de l'épuisement azoté du sol.
- La conduite de tests de fertilisation azotée différée.

L'essai d'épuisement azoté est destiné à préciser les conditions d'apparition d'une carence. La partie ne recevant pas de fertilisation azotée sera utilisée dans le cadre de travaux de stage pour rechercher la présence d'éventuelles bactéries diazotropiques (**annexe 9, Partie I, § 32**).

Les tests de fertilisation azotée, conduits sur la base des différentiels de rendement actuellement à l'étude en Australie, seront réalisés sur des parcelles cultivées de Bologne. La mise au point des indicateurs de prise de décision s'appuiera sur la modélisation, qui permet d'évaluer la part climatique dans la variabilité des rendements.

Concernant les autres minéraux, nous aborderons le problème par des dosages de cendres de combustion. La gestion de la fertilité pour ces éléments sera conditionnée par la présence de chlordécone dans les cendres. En l'absence de chlordécone, la restitution des cendres permettra d'éviter des apports minéraux sous forme d'engrais.

4. Calendrier et résultats attendus

Les principaux résultats scientifiques et techniques attendus sont :

- Amélioration des connaissances sur les mécanismes de formation des composantes de la biomasse qui participent à la valeur énergétique de la ressource ;
- Premières données sur le calage des cycles de culture permettant une production répartie sur l'année ;
- Itinéraires technique reproductible, incluant dans un délai de 2,5 ans, les meilleures variétés et espèces, précisant leur cycle de culture (plantation et récolte) et les premières modalités de fertilisation et de désherbage ;
- Amélioration de la production pour des composantes recherchées (fibres, pouvoir calorifique, cellulose...) ;
- Amélioration des connaissances sur la variabilité des caractéristiques énergétiques de la biomasse et ses principales composantes ;
- Amélioration du rendement et de la production énergétique. Le niveau initial pour estimer cette amélioration correspond à la production cannière actuelle. Le niveau final, que nous devrions pouvoir approcher lors de la mise en route de l'unité industrielle de production, a été fixé par référence aux résultats obtenus en Floride (Tableau 3). Un bilan d'étape annuel permettra de nous situer par rapport à ces deux limites.

Tableau 3 : Marges de progrès pour la production de biomasse

	Situation initiale	Objectif final
Production de canne (t/ha)	80	190
Taux de sucre (%)	14	8
Taux de fibre (%)	14	32
Taux de matière sèche (%)	28	40
Production de fibres (t/ha)	11	61

Le calendrier prévisionnel des actions de recherche et les principaux résultats attendus par activité élémentaire sont indiqués dans le Tableau 4:

Tableau 4 : Calendrier des activités itinéraire technique

	Actions	Trimestres					Résultats appliqués attendus
		1	2	3	4	5	
Itinéraires technique	Constitution de collection	■	■	■	■	■	Identification des meilleures variétés
	Introduction de nouvelles variétés	■	■	■	■	■	5 à 10 nouvelles variétés par an
	Caractérisation du rendement		■	■	■	■	Identification du matériel vigoureux
	Aptitude énergétique		■	■	■	■	Choix des variétés énergétiques
	Calage du cycle			■	■	■	Calendrier de plantation et de récolte
	Fertilisation azotés			■	■	■	Première approche des besoins en N
	Fertilisation minérale				■	■	Possibilités d'utilisation des cendres
Récolte et séchage				■	■	Choix du matériel et des réglages	
Formation	Thèse			■	■	■	Composantes énergétiques et cycle
	Stages			■	■	■	Appuis (sélection, agronomie...)

III. APPROCHE ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

1. Objectifs

Les systèmes de production¹ mis en place pour la production d'électricité devront être rentables et durables. L'approche économique et environnementale de ce projet sera faite à deux échelles :

- (1) Au niveau du pilote lui-même ;
- (2) À l'échelle du gisement potentiel de canne électricité.

Au niveau du pilote, il est nécessaire d'évaluer la rentabilité de cette filière électricité : l'investissement est-il rentable pour l'industriel ? Quels sont les coûts de production de la canne énergie ? Quel est le bilan énergétique de cette nouvelle filière ? Y a-t-il des moyens d'optimiser ce bilan énergétique ?

Si l'on veut ensuite élargir la démarche au-delà du pilote, il est nécessaire d'estimer le gisement potentiel de canne, et de réfléchir aux moyens de développer une filière canne énergie pour alimenter des unités de 12 MW.

2. Le programme

Nous avons différencié 4 grands types d'action :

- Création d'un système d'information pour évaluer la rentabilité et la durabilité de cette filière énergie
- Valorisation des résidus de récolte : peut-on alimenter l'usine avec une partie des pailles provenant d'exploitation sucrière ou rhumière ? si oui, comment la récolter et à quel prix ?
- Définition des modalités de paiement de la canne électricité : prix d'achat, formule, paramètres de qualité utilisés...
- Estimation du gisement potentiel de canne puis organisation de la récolte, du transport et du stockage sur cette zone

21. Système d'information technico-économique et environnemental

La rentabilité et la durabilité de la filière évolueront avec les avancées des recherches variétales, agronomiques, organisationnelles et industrielles. On prévoit de réaliser un système d'information, constitué d'une base de données et d'un outil de simulation, qui permettra de connaître les coûts de production et de réaliser des bilans carbone à l'échelle des exploitations et pour l'ensemble de la filière. Ces évaluations seront effectuées pour différents itinéraires techniques et compte tenu des « types » d'exploitation susceptibles à terme de livrer de la canne électricité. Cette base de données sera mise à jour régulièrement, au rythme des nouveautés sur les itinéraires techniques.

¹ Dans « systèmes de production », on inclut toutes les phases de la plantation jusqu'à la livraison des cannes à l'usine.

211. Référentiel technique, économique et environnemental

Ce type de référentiel existe déjà en partie en Guadeloupe pour les systèmes de cultures actuels, dédiés à la production sucrière et rhumière (référentiel technico économique 2007). Il sera nécessaire d'inclure des éléments propres à la nouvelle filière électricité ainsi que tous les éléments nécessaires à la réalisation d'un bilan énergétique et à la mesure d'impact écologiques possibles.

La base de données intégrera des éléments techniques et économiques :

- Localisation des parcelles ;
- Espèce et variété utilisée ;
- Modes de coupe, chargement, transport ;
- Intrants utilisés ;
- Modalités de stockage...

212 Outils de calcul des coûts de production et du bilan carbone

Il existe de nombreux outils permettant de réaliser des bilans carbone ou des bilans économiques. Nous utiliserons le logiciel AGROPOL (prototype, 2006 développé par le CIRED/CIRAD), permettant de faire des bilans économiques et des bilans carbone d'itinéraires techniques. Le logiciel AGROPOL devra être complété par l'ajout d'un volet spécifique transport, puis finalisé pour obtenir un module de calcul des bilans carbone opérationnel.

Les itinéraires techniques seront adaptés en fonction de leur bilan économique et de leur bilan carbone.

Ces deux actions seront réalisées dès la première année. Elles sont vitales pour l'évaluation environnementale et économique de la filière. Elles nécessitent l'emploi d'un VCAT (18 mois), agronome spécialisé en informatique, pour la partie récolte de données, mise à jour, développement informatique et validation de l'outil. Il sera encadré par un informaticien (trois mois) qui pourra être basé à Montpellier.

22. Valorisation des résidus de récolte

On appelle ici « résidu de récolte » les pailles laissées au champ après la récolte de la canne sucrière. Ces résidus constituent un stock important de matière sèche qui pourrait être utilisée pour la production d'électricité. Les éléments d'évaluation du stock potentiel sont donnés en **annexe 9** (*Partie I, § III-124*). Il est possible de les récolter sous forme de balles et de ne récolter qu'une partie des résidus au sol (*Partie I § III-4*).

Les résidus de récolte ont toutefois des fonctions agronomiques et environnementales (*Partie I, § III-31*). Les planteurs les laissent en général en totalité au champ. Dans la région de Capesterre-Belle-Eau, compte tenu de l'humidité, ces résidus sont dégradés en quasi-totalité d'une année sur l'autre. Toutefois, une partie de ces résidus pourraient éventuellement être collectée, pour compléter les apports au niveau du pilote, et à terme pour fournir des unités de 12MW (*Partie I, § III-41*).

Nous nous proposons d'évaluer la « valeur » de ces résidus, d'un point de vue agronomique, écologique, énergétique et économique (*Partie I, § III-34*). Vaut-il mieux les laisser au sol ou les utiliser en partie ? Quels indicateurs concevoir pour mesurer cette « valeur » ? Comment fixer le prix de cette biomasse ?

À ce jour, de nombreuses recherches ont permis d'évaluer les effets du mulch sur la levée, le rendement de parcelles, ou l'effet du paillis sur l'érosion. D'autres ont permis de mettre en évidence des voies d'utilisation potentielles pour ces résidus de récolte afin de les valoriser économiquement (pour l'élevage par exemple). Toutefois, aucune méthode ne permet d'intégrer l'ensemble des effets agronomiques et environnementaux des pailles laissées au sol puis de les mettre en regard d'une valorisation économique. Nous proposons donc de faire une revue des effets agronomiques et environnementaux de ces pailles, ainsi que des méthodes qui pourraient être mobilisées pour évaluer leur valeur en tant que « résidu ». Dans un second temps, nous proposons de développer une méthode générique pour évaluer la valeur d'un résidu de récolte. Ce type de démarche pourra être réalisé en parallèle avec

des démarches d'évaluation des déchets d'élevage (en collaboration avec l'UPR Résidus et risques environnementaux). Cela demandera d'intégrer des logiques économiques, agronomiques et environnementales, à l'échelle d'une filière. Cette thématique fera l'objet d'une thèse en économie de l'environnement.

33. Conception et évaluation des modes de paiement

Sont concernés par cette approche (i) la production canne entière et (ii) les résidus de récolte de la filière sucre.

Une fois les bilans des coûts de production et des coûts carbone réalisés, il est possible de définir le prix de revient de la canne énergie, pour les planteurs et pour les industriels.

Ces calculs de prix d'achat se feront aussi sur les résidus de récolte.

Le prix d'achat de la canne énergie dépendra bien sûr du prix de vente de l'énergie. Il dépendra également des coûts de production. On se propose de compléter ces coûts de production avec des coûts carbone.

Le prix d'achat, dans le contexte guadeloupéen, devra également tenir compte du prix d'achat du sucre, pour éviter que la filière canne -énergie ne devienne concurrente de la filière sucre rhum. À ce titre, les études sur ce point seront menées en concertation avec le CTCS Guadeloupe. Elles peuvent faire l'objet de stages de fin d'études.

331 Définir les modalités de paiement.

Si l'on décide à terme de rémunérer la canne énergie en fonction de sa qualité à faire de l'énergie, il est nécessaire de définir un ensemble de règles et de procédures pour sa rémunération. Quel est le bon indicateur de la qualité (Pouvoir calorifique, fibre, taux d'humidité) ? Comment analyser la qualité : quelle méthode de mesure et d'échantillonnage ?

Est-il possible d'utiliser le SPIR (*voir § IV de ce rapport*) comme outil d'estimation de la qualité rémunérée ? Si au niveau analytique le SPIR peut être une bonne méthode pour étudier les composantes du rendement, sa précision est-elle suffisante pour envisager que cette technique serve de base à la rémunération ?

332 Définir une formule et évaluer les revenus planteurs moyens espérés.

Une fois l'indicateur d'estimation de la qualité défini, il faut définir une formule de paiement. Celle-ci dépend de l'évolution au cours de la campagne de récolte de l'indicateur défini. Si la qualité de la canne varie au cours du temps, la rémunération à la qualité mesurée de chaque échantillon n'est peut être pas appropriée. La formule dépendra de la variation de l'indicateur de qualité, de la durée de la campagne et de l'organisation de la récolte.

Des outils existent au CIRAD pour évaluer l'impact de la formule de paiement sur le revenu des planteurs et sur le partage au sein de la filière de la valeur créée (*Partie I, § III-43*). Ces outils ont été utilisés pour une filière sucre. Il est nécessaire de les adapter à une filière électricité et de les coupler aux outils permettant d'estimer les coûts de revient.

333. Définir une formule intégrant des « coûts environnementaux »

La démarche intégrera en parallèle les coûts environnementaux. Le prix d'achat de la matière première devra tenir compte des avantages environnementaux que peut représenter la culture de la canne sur ces sols pollués.

La mise au point de règles et de procédures pour le paiement est un sujet consensuel. Il nécessite une présence locale ou du moins la réalisation d'enquêtes de terrain et des interventions locales. C'est pourquoi nous prévoyons un VCAT, et un encadrement par un chercheur, via des missions régulières.

34 Estimation du gisement et organisation de la récolte

Cette partie concerne plus particulièrement l'échelle du futur bassin d'approvisionnement. La mise en place d'usine de 12 MW dépend étroitement du gisement potentiel de canne. Une fois le gisement défini, il est nécessaire d'optimiser la localisation des unités de production afin de réduire les coûts économiques et énergétiques du transport. Dans le cadre de la gestion de grosse quantité de biomasse, le transport est l'opération la plus coûteuse en énergie, en temps et en charges.

De nombreux outils d'optimisation de la récolte et du transport de la canne existent. Ils concernent des domaines variés :

- Au plan logistique, des outils ont été développés pour l'optimisation du transport ou la localisation des unités de production et de stockage ;
- Au plan de l'aménagement du territoire, des SIG permettent de cibler les investissements en termes d'infrastructures ;
- À l'échelle du bassin, d'autres outils permettent d'organiser la récolte en fonction de la maturité des cannes.

Toutefois, pour la filière canne, aucun de ces outils ne prend en compte la composante environnementale (*Partie I, §III-43*). L'intégration d'indicateurs environnementaux dans ces outils d'optimisation semble intéressante, notamment parce que le transport est un des postes les plus producteur de CO₂ et consommateur d'énergie fossile.

En pratique, les questions qui se posent sont de l'ordre :

- De la réduction des coûts énergétiques du transport (quel est le nombre la puissance et la dimension des camions à privilégier pour limiter le nombre d'aller-retour consommateur en énergie tout en assurant que l'investissement soit rentable ?) ;
- De l'aménagement du réseau de dessertes (Vaut-il mieux investir dans un pont plutôt que de contourner les rivières par des routes très empruntés et embouteillées ? vaut-il mieux investir dans une route bétonnée ou laisser un chemin de terre) ; ou
- De la gestion de la qualité de la biomasse sur le bassin.

Cette étape nécessite des études et analyses qui peuvent être déléguées à des stagiaires de fin d'études, en agronomie et en logistique, encadrés par un chercheur.

4. Calendrier et résultats attendus

Le Tableau 5 schématise le calendrier d'exécution des principales actions.

Tableau 5 : Calendrier des activités économiques et environnementales

	Actions	Trimestres					Résultats appliqués attendus
		1	2	3	4	5	
Économie et environnement	Base AGROPOL						Méthodologie (Agropol) 1 ^{er} bilan CO ₂
	Résidus de récolte						Évaluation économique
	Modalité de paiement						Première approche de la structure
	Organisation de la récolte						1 ^{er} schéma directeur approvisionnement
Formation	Thèse en économie de l'environ.						Approche des coûts environnementaux
	Stages						Appuis (chimie, agronomie...)

Les résultats attendus sont :

- Début de détermination des conditions économiques et énergétiques de développement des filières biomasse énergie ;
- Première approche de la mise au point du contrôle de qualité et de la structuration des prix d'achat aux producteurs ;
- Première conception d'organisations efficaces d'approvisionnement en biomasse ;

- Amélioration des connaissances dans le domaine de l'évaluation économique des impacts environnementaux de la production agricole ;
- Premières ébauche d'une intégration des coûts environnementaux dans les évaluations économiques et l'élaboration du prix de la production ;
- Conception d'outils d'aide à la décision pour faciliter la mise en place des relations contractuelles entre planteurs et industriels autour des problèmes de qualité et de prix ;
- Constitution de bases de données éco environnementales ;
- Evaluation de l'intérêt économique et environnemental de l'utilisation de biomasse résiduelle issue de la filière sucre.

Ce volet de recherche conduit à de nombreux résultats applicables par extrapolation dans les DOM et les zones insulaires contraintes par le foncier agricole. Il conduit à montrer qu'une agro-industrie, à l'échelle d'une production limitée par les surfaces, est susceptible de créer de la richesse dans un cadre durable.

IV. QUALITE DE LA BIOMASSE

1. Objectifs

Ce volet est destiné à la mise au point d'une méthode d'analyse fiable, rapide et peu coûteuse des composantes de la biomasse. Elle sera mise en œuvre pour évaluer la qualité des livraisons et donner des éléments de calcul du prix d'achat de la biomasse. Cette méthode sera aussi mise en œuvre par la recherche pour élaborer les itinéraires techniques. Rappelons que la qualité énergétique de la biomasse doit être caractérisée facilement afin :

1. De déterminer les potentialités des espèces et variétés en collection ;
2. De quantifier les facteurs externes jouant sur cette qualité (âge, climat...) ;
3. De déterminer la qualité de la biomasse livrée à l'unité.

Rappelons aussi (voir itinéraire technique) que les objectifs finalisés de ces analyses sont (1) de sélectionner les espèces les plus performantes en fonction des périodes de récolte (2) de caler les cycles de culture et (3) d'aider à définir les modalités de paiement en fonction du rendement énergétique industriel de la production.

Le montage d'un laboratoire biomasse sur le site du Fromager permettra dans un premier temps de quantifier la production de biomasse humide et sèche de toutes les expérimentations programmées. Nous disposerons en effet, dans l'année du démarrage du projet, de capacités de broyage, de séchage et de pesée.

2. Programme

21. Introduction

Les analyses chimiques classiques sont longues, coûteuses et difficiles à reproduire d'un laboratoire à l'autre. L'analyse par spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) permet de corriger ces défauts en fournissant des résultats immédiats, non destructifs à un coût environ 40 fois plus faible que la méthode chimique classique. La mise en œuvre de l'analyse SPIR nécessite cependant le calibrage des mesures pour chaque composante à analyser et chaque espèce cultivée.

Il s'agit de caractériser la qualité énergétique de la production avec :

- Pour les cannes fraîches livrées au pilote :
 - Le PCI (pouvoir calorifique inférieur) ;
 - L'humidité ;
 - La teneur minérale totale (teneur en cendre) ;
- Pour la sélection et la mise au point du cycle de culture sur échantillons secs :
 - Le PCI, la teneur minérale principale (N, P, K) et totale ;
 - Les principaux constituants énergétiques de la biomasse : cellulose, hémicellulose et lignine et sucre ;
 - Les mesures d'humidité.

Les objectifs spécifiques de l'étude sont :

- La constitution de bases de données spectrales pour les différentes Poacées retenues dans l'étude. Ces bases seront constituées sur produits frais et sur produits secs ;
- Le développement de modèles prédictifs pour les paramètres suivants : Valeurs de PCI, teneurs en eau, cellulose, hémicellulose, lignine et matière minérale ;
- Le transfert des modèles vers une unité de contrôle-qualité en entrée usine.

22. Méthodologie

Pour des raisons de conservation d'échantillons, les cannes fraîches ne pouvant pas être conservées sans modification, les analyses spectrales seront réalisées sur site.

221. Développement des bases spectrales (année 1 et 2)

La méthodologie expérimentale développée porte sur les actions suivantes:

Sur site :

- Les échantillons récoltés seront broyés grossièrement puis analysés sur place, afin de réaliser leur spectre infrarouge avant séchage à l'étuve ;
- Les produits secs seront broyés plus finement et analysés en spectrométrie proche infrarouge ;
- Une sélection des échantillons sera réalisée sur la base de leur empreinte spectrale.

À Montpellier :

- Les échantillons les plus représentatifs de la variabilité spectrale seront envoyés au laboratoire de Montpellier pour des analyses chimiques par les méthodes classiques de leur teneur en matière minérale, cellulose, hémicellulose et lignines et pour leur valeur de PCI.

Ces analyses de laboratoire, réalisées lors de la phase de développement des modèles prédictifs, ne seront pas transférées sur site. En effet celles-ci requièrent un niveau de technicité élevé et nécessitent un investissement conséquent en matériel et consommables alors même que l'objectif du projet est de diminuer au maximum le nombre d'analyses conventionnelles.

Sur la base des spectres acquis et des analyses de référence, des modèles prédictifs seront développés pour chaque critère étudié. Au cours de ces développements, basés sur l'optimisation de modèles prédictifs, des analyses de référence complémentaires seront réalisées pour les échantillons écartés des modèles (tests statistiques).

Les modèles développés seront validés en analysant, pour leur empreinte spectrale et pour leurs teneurs, un nouveau set d'échantillons sélectionnés sur sites de façon aléatoire.

Deux missions sont programmées :

Une mission d'expertise de 15 jours, en chimie proche infrarouge, sera réalisée en début de projet pour la mise en œuvre opérationnelle du programme :

- Définition avec le personnel technique des protocoles et plans d'échantillonnage, de codage, de mesure, de stockage et d'envoi des échantillons ;
- Modalités d'implantation du matériel de préparation des échantillons et de mesure en fonction des contraintes locales (lieux, locaux, équipement) ;
- Modalités de collaboration et de formation du personnel technique
- Validation des collaborations avec le CIRAD (équipe UR75) et l'INRA pour la mutualisation du matériel existant et à acquérir dans le cadre du projet (broyeurs à canne, étuves, balances, SPIR INRA)....

Une seconde mission technique de 10 jours est programmée en cours d'année 2, afin de réaliser les tests de performances instrumentales, de vérifier la mise en place et le bon fonctionnement des procédures et de débiter les tests de prédiction en analyse de routine.

222. Transfert des bases spectrales sur site (année 3)

Une mission d'expertise proche infrarouge d'une durée minimum de 3 semaines sera réalisée en année 3 dans l'objectif de :

- Transférer les bases de calibration ;
- Configurer le spectromètre du pilote ;
- Définir les masques de saisie ;
- Mettre en place les protocoles et les procédures analytiques sur de la biomasse fraîche ;
- Tester le fonctionnement et mise en route de l'équipement.

Au cours de cette année 3, les analyses de routine seront réalisées sur site, sur frais en entrée pilote, en appliquant les modèles prédictifs développées et les procédures opérationnelles.

Cette année 3 du projet sera également consacrée au suivi des bases de calibration et en particulier à l'étude de l'influence du facteur "année de culture" sur la robustesse des bases. Le suivi des modèles prédictifs sera fait en prélevant 10% des échantillons (avec un minimum de 100 échantillons) tout au long de la saison. Ces échantillons seront broyés, séchés puis broyés plus finement sur site.

Les échantillons seront expédiés à Montpellier pour analyse des teneurs fibres et des valeurs de PCI.

Les modèles prédictifs seront validés et ajustés sur la base des résultats obtenus pour ces échantillons. Les bases sur site seront mises à jour.

3. Calendrier et résultats attendus

Les principales phases du volet qualité sont reprises dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Calendrier des activités « qualité »

	Actions	Trimestres					Résultats appliqués attendus
		1	2	3	4	5	
Analyses	Montage du laboratoire						Mise en route du laboratoire
	Mise au point des dosages						Finalisation des procédures
	Pesées et humidité						Caractérisation du rendement
	Calage PCI, lignines, cendres...						Données de calage
	Analyses SPIR						Calage et amélioration de la précision
	Finalisation des algorithmes						Conception du dispositif industriel

Vu la connaissance de la prédiction obtenue sur maïs, sorgho et autres Poacées, on peut définir des objectifs de précision pour les calibrations SPIR. Cette précision est caractérisée par le SEP (Standard Error of Prediction) des équations SPIR (Tableau 7).

Des équations seront développées sur poudres sèches pour la recherche et sur produits frais (sortie du broyeur) pour l'utilisation opérationnelle. La précision relative attendue est meilleure sur poudres.

Tableau 7 : Précisions analytiques attendues

Echantillons	Mesures	Teneur attendue	Objectif
Recherche (séchés, broyés)	MS résiduelle	5-10%	1%
	PCI	18-19 MJ/kg	0.4 MJ/kg
	NDF	75-80% MS	1.8% MS
	ADF	45% MS	1.5% MS
	ADL	6% MS	0.7% MS
Livraison pilote (broyat frais)	MS	30-40%	2%
	PCI sec sur brut	6 MJ/kg	0.3 MJ/kg
	NDF brut	25% MS	1.0% MS
	ADF brut	15% MS	0.8% MS
	ADL brut	2% MS	0.3% MS

Pour le passage sur frais, les valeurs sont données ici à titre indicatif (Tableau 7). Il faudra attendre les résultats préliminaires de l'étude pour préciser les performances pouvant être réalisées en conditions de terrain.

Ce volet de recherche contribue par ailleurs aux retombées suivantes :

- Constitution et enrichissement d'une collection d'échantillons de référence (l'analyse est non destructive. La collection est donc réutilisable sans limite) ;
- Calage des SPIRs utilisés dans le cadre du projet ;

- Réduction des coûts analytiques (de 200 € en routine à environ 5€ en SPIR) avec accès quasi instantané aux résultats ;
- Constitution d'une base de données canne lignocellulose ;
- Appui à l'amélioration et à la sélection variétale ;
- Publications sur l'usage de la spectrométrie dans le domaine de la production énergétique : caractérisation de la culture et du rendement industriel ;
- Expertise qualité dans le domaine de la production de biomasse à usage multiple (énergie, chimie verte, biomatériaux).