



*Au service
des peuples
et des nations*



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO
Ecole Doctorale Génie des Procédés et des Systèmes Industriels, Agricoles et Alimentaires

RAPPORT DE STAGE

Par : RANDRIANTIANA Irina, Etudiante en doctorat

Thème : Choix et perspectives de la Bioraffinerie durable à Madagascar

Novembre 2014

REMERCIEMENTS

Ce stage a été réalisé grâce au soutien de divers organismes et de personnes. Nous tenons particulièrement à remercier :

- Le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) et l'Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture (UNESCO) pour avoir bien voulu apporter leur soutien financier en développant un dispositif d'accueil des stages académiques et professionnels des étudiants dans le Domaine de la Gouvernance et du Développement Humain Durable (G/DHD). Ce qui a rendu possible la réalisation de ce stage ;
- L'Université d'Antananarivo représentée par le Vice-président chargé de la Formation et de la Recherche et qui dirige l'Equipe G/DHD pour la recherche de moyens de soutien des étudiants tout au long de leurs cursus académiques ;
- Le Comité Scientifique de l'Equipe G/DHD pour s'être intéressé à mon thème de recherche et m'a permis de bénéficier de la bourse G/DHD ;
- L'Equipe G/DHD, en particulier, Elsa et Fenosoa, qui n'ont pas ménagé leurs efforts pour nous accompagner tout au long du stage. Les courriels ont même fusé en fin de semaine. Votre volonté de réussir le projet est remarquable;
- Pr RAMANOELINA, notre encadreur scientifique. Il a accepté de nous diriger dans ce long périple ;
- La SUCOMA qui a bien voulu accueillir mon stage. Tout spécialement, je voudrais remercier, M. ZHOU, Vice-président du Conseil d'Administration qui a donné son accord pour la réalisation de notre stage dans sa société, M ZHAU, Directeur General Adjoint, qui a rendu possible la signature de l'accord de stage, même en un jour non ouvrable et ce, pour honorer le délai de dépôt de candidature pour la bourse G/DHD ;
- M SERGE de la SUCOMA, Directeur de l'usine par intérim qui, malgré ses nombreuses obligations, a joué le rôle d'encadreur professionnel ;
- Vonjy et Joro de SUCOMA qui se sont rendus plus que disponibles lors de mes passages à l'usine.

INTRODUCTION..... 3
OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES 5
METHODOLOGIE 5
RESULTATS 7
ACQUIS PERSONNELS 8
PERSPECTIVES 8
ANNEXE 0

INTRODUCTION

Thématiques G/DHD : lien du sujet et la Gouvernance/Développement Humain Durable

Le pays présente un fort taux d'endémicité et de diversité biologique et s'avère en même temps très vulnérable au changement climatique. Ce qui constitue un enjeu de taille pour le pays. Entre autres stratégies, Madagascar a adhéré et ratifié divers accords internationaux sur l'environnement et ceux en faveur du développement durable. Les mesures préconisées à cet effet sont notamment la création d'aires protégées, la mise en œuvre d'initiatives visant la réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation de forêts et aussi la gestion durable des ressources naturelles.

En addition à ces particularités biologiques, Madagascar fait aussi face à un autre défi majeur : la pauvreté. Madagascar ne peut qu'ainsi miser sur un mécanisme de développement qui assurera à la fois l'équité sociale, l'efficacité économique et le respect de l'environnement. Bref, le mécanisme d'essor à mettre en œuvre devra calquer un esprit de développement durable. Et dans le contexte où le pays est majoritairement constitué d'une population agricole, un des axes de développement prioritaires devra être la redynamisation du secteur agroindustriel.

Mais, ce développement doit être bien réfléchi dans la mesure où le tissu industriel malgache est fragilisé notamment des suites de crises sociopolitiques et d'autres conditions peu favorables aux investissements. La crise politique de 2002 a eu pour conséquence une forte diminution de l'investissement privé qui a atteint un niveau de 10% et celle de 2009 a fait diminuer les investissements aussi bien publics que privés. La suspension de l'appui de l'ensemble des bailleurs de fonds a pesé sur cette diminution de l'investissement, notamment public. Des mesures et des réformes destinées à créer un climat plus favorable aux investissements ont été mises en place en particulier par l'institution du libre investissement sur le territoire malgache à travers la loi sur les investissements en 2007. Leurs impacts restent toutefois très limités¹.

D'après un diagnostic du secteur énergie en 2012², l'industrie et les PME/PMI consomment 44% de l'énergie électrique à Madagascar en 2011. Ce qui reflète encore une fois le faible dynamisme de l'économie du pays qui est à mettre en lien avec la fragilité du secteur secondaire étant pourvoyeur de valeurs ajoutées et d'emplois. Aussi, les investissements et innovations industriels qui seront implémentés devront tout particulièrement s'inscrire dans une démarche d'optimisation des ressources et d'efficacité énergétique compte tenu de la disponibilité souvent aléatoire et le coût élevé de l'énergie à Madagascar.

Si nous retenons comme définition que la bioraffinerie est un concept selon lequel un ensemble de méthodes et de technologies permettent de transformer la totalité de la biomasse en une large gamme de bioproduits à valeur ajoutée, Madagascar devrait en être un pays promoteur avec ses activités économiques principalement tournées vers l'agriculture.

Pourtant, un rapide tour d'horizon des études et des expériences sur le terrain a permis de conclure que les recherches et développement en la matière sont encore très limitées. Les études relatives portent surtout sur la production de biocarburants de deuxième génération.

Une des filières qui pourraient être un point d'ancrage de la bioraffinerie à Madagascar est l'industrie sucrière. C'est une filière qui a fait ses preuves sur le plan économique national car, dans sa capacité de production nominale, elle représenterait 2,8% du PIB³. Et à elle seule, la société SUCOMA dans le sud-

¹ http://eeas.europa.eu/delegations/madagascar/eu_madagascar/trade_relation/investments/index_fr.htm

Consulté le 25/11/14

² AIDES, 2012, Diagnostic du secteur Energie à Madagascar, WWF MWIOPO et Ministère de l'Energie.

³ <http://www.commerce.gov.mg/index.php/revue-de-presse/1723-filiere-sucre-madagascar-a-elabore-une-strategie-pluriannuelle>

Consulté le 26/11/14

ouest de Madagascar franchit la barre des 160.000t de cannes usinées pour ses campagnes annuelles de 3 à 4 mois⁴. Si la vitalité d'une industrie se mesure, entre autres, par sa capacité de réinvestissement et d'extension, la filière sucrière malgache a dû presque lutter pour sa survie face à la baisse de 36% du prix garanti fixé par le marché de l'Union Européenne. A cet effet, une stratégie nationale d'adaptation de la filière sucre, prévue être mise en œuvre de 2006 – 2014, est élaborée et propose une restructuration qui devrait permettre de s'adapter à une baisse des prix du sucre et de réduire de façon substantielle et durable les coûts de production. Pour le cas de SUCOMA, la société destine la totalité de sa production au marché local. Elle fait actuellement face à une problématique relative à une mévente. Le sucre produit localement est concurrencé par le sucre d'importation qui inonde le marché et qui est vendu à un prix plus bas. La recherche d'une solution pour faire face à cette paralysie s'avère ainsi nécessaire.

Le choix de la filière sucrière est aussi à mettre en lien avec sa capacité d'autonomie énergétique grâce à la valorisation de ses sous-produits, la bagasse. La bagasse est le résidu fibreux obtenu après extraction du jus par broyage de la canne à sucre. En théorie, elle représente un tiers du poids de la canne. Et, l'excédent ne servant pas dans les chaudières pour assurer la production d'utilités énergétiques de l'usine sucrière peut être valorisé à d'autres fins. C'est sur ce postulat que la présente étude se base. L'intégration d'une bioraffinerie de bagasse apparaît ainsi comme un support avantageux pour l'industrie sucrière en élargissant son portefeuille de production et ce, sur la base d'une économie verte.

Le présent rapport fait état des réalisations d'un stage sous la thématique Gouvernance et Développement Humain Durable avec laquelle ce concept d'économie verte s'aligne parfaitement. Les travaux réalisés dans le cadre de ce stage visent à évaluer la pertinence de l'intégration d'une bioraffinerie à une usine sucrière.

⁴ www.canneasucre.mg

Consulté en 09/14

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES : apport en termes de savoirs scientifiques au domaine traité, valeur ajoutée au domaine professionnel

L'objectif scientifique de l'étude est de démontrer la faisabilité de la Bioraffinerie à Madagascar et ce, dans un concept de développement durable.

Les objectifs spécifiques sont :

- Développer un modèle de Bioraffinerie intégrée et durable en utilisant des technologies innovantes et adaptées;
- Evaluer la durabilité de ce modèle de Bioraffinerie sur le plan économique, social et environnemental.

A terme, sur le plan professionnel, cette recherche devra servir d'outil de référence pour toutes décisions de mise en place de bioraffinerie intégrée et durable à Madagascar.

METHODOLOGIE

La méthodologie de la recherche comporte 5 étapes :

Etape 1 : Développement d'un modèle d'usine sucrière

Étant donné que l'usine réceptrice est implantée dans une région à forte potentialité agricole, d'autres biomasses lignocellulosiques à part la bagasse pourraient convenir comme matières premières de la bioraffinerie. Leur définition repose sur l'évaluation de leur pertinence en termes de quantité, de disponibilité et de qualité.

La méthode d'évaluation du gisement de biomasse mobilisable est adaptée de celles décrites dans la littérature dont le principal outil est le Système d'Information Géographique (SIG). Cette méthode sera complétée par des investigations de terrain. Les données de SIG sur la Région de Menabe seront collectées, notamment auprès du Ministère de l'Agriculture à travers les Annuaires Agricoles 2005 -2008, auprès des Collectivités Territoriales Décentralisées (CTD) et Services Techniques Déconcentrés (STD), des Organisations Non Gouvernementales. Les investigations de terrain porteront sur la collecte des données manquantes, la vérité terrain relativement aux données de SIG obtenues et l'enquête auprès des agriculteurs de la région.

L'analyse de la biomasse se focalisera sur les sous-produits agricoles qui n'ont pas de fins de marché spécifiques notamment l'alimentation animale et l'approvisionnement énergétique local. Une liste des biomasses pouvant technologiquement faire l'objet d'un bioraffinage sera établie. Il s'agit entre autres des spathes et tiges de maïs, les gousses d'haricot...

a- Délimitation du terrain d'investigation

Tel que prévu dans la littérature⁵, l'inventaire sera fait sur un rayon de 30km à partir de l'usine réceptrice. A partir des données disponibles au niveau des institutions-ressources, une carte d'occupation du sol sera établie. Elle devra mettre en exergue les mosaïques de culture. Par randomisation, cinq lignes de transect correspondant chacun à un rayon seront tracées à l'intérieur du cercle.

b- Méthode d'échantillonnage

Tous les terrains agricoles traversés par les transects seront répertoriés. L'objectif sera de faire l'évaluation sur au moins 50 parcelles. Une stratification de ces dernières sera établie en fonction de la taille d'exploitation.

c- Enquête auprès des exploitants

⁵ Van Dael, Miet, Development and techno-economic evaluation of a biorefinery based on biomass (waste) streams, 2e Congreso Iberoamericano sobre Biorrefinerías

Une enquête auprès des exploitants agricoles des terrains traversés par les transects sera menée avec le concours de techniciens de terrain. Elle aura pour objectif de définir les types de culture, le rendement, les systèmes de production (rotation, jachère, labour...), la destination des déchets agricoles. Par la suite et ce, afin de récapituler et de vérifier les informations recueillies par l'enquête, une MARP sera effectuée en faisant intervenir le maximum d'exploitants agricoles sur et hors des lignes de transects.

Pour compléter cette enquête, les techniciens lors de leur descente sur terrain relèveront les parcelles sur les transects qui ne font pas l'objet d'aucune exploitation agricole avec les types de végétation s'y trouvant.

d- Evaluation du gisement de biomasse mobilisable

Le report des données d'enquête sur la carte d'occupation du sol donnera une vue d'ensemble de la production agricole autour de l'usine réceptrice.

Dans un premier temps, la biomasse comprenant substantiellement les déchets agricoles sera quantifiée à travers la formule développée par Iowa State University pour les différents types de cultures. Cette formule propose un ratio des grains ou autres parties végétales initialement exploitées à l'ensemble de la plante et permet de déduire la quantité de déchets agricoles pour chaque type de culture.

Dans un deuxième temps, le gisement de biomasse mobilisable pour la bioraffinerie sera calculé à partir de la quantité de déchets agricoles totale à laquelle la quantité de déchets agricoles destinés à d'autres utilisations (notamment fourrage) est soustraite.

Etape 2 : Définition des matières premières

Étant donné que l'usine de référence est implantée dans une région à forte potentialité agricole, d'autres biomasses lignocellulosiques à part la bagasse sont considérées pour constituer les matières premières de la bioraffinerie intégrée. Leur définition repose sur l'évaluation de leur pertinence en termes de quantité, de disponibilité et de qualité (composition chimique).

Etape 3 : Développement d'un modèle de Bioraffinage

Le modèle est développé sur ASPEN Plus qui permet la simulation des procédés. L'objectif de la simulation est de développer un modèle qui permet d'exploiter l'entièreté de la biomasse, d'utiliser différents types de biomasses, de générer des produits de haute valeur ajoutée, de caractériser et de calculer les différents flux et les étapes opératoires.

Etape 4 : Intégration des procédés

Cette étape consiste en l'incorporation du modèle de bioraffinage à l'usine sucrière et d'en assurer l'optimisation des ressources.

Etape 5 : Evaluation du modèle de Bioraffinerie en termes de durabilité

Le but étant la disposition d'un modèle de Bioraffinerie intégrée et durable, différents principes et critères sont établis notamment : autonomie énergétique, optimisation énergétique et matérielle, procédés les moins polluants, viabilité économique, acceptabilité sociale... Un criblage sur ces critères permet de démontrer l'avantage économique, social et environnemental du bioraffinage intégré à l'usine sucrière.

Dans le cadre du stage GDHD, il a été convenu de travailler sur les deux premières étapes de la méthodologie. L'observation directe auprès de l'usine de production de sucre a constitué le principal outil. L'objectif a été de développer le modèle cité dans la première étape. Pour ce qui est de la deuxième étape, la définition des matières premières a été faite à partir d'entretiens avec des acteurs concernés combinés avec le système d'information géographique. Divers acteurs ont été contactés dont des responsables au niveau de la Direction Régionale du Développement Rural, du SIRANALA, des regroupements paysans FITAME (Fikambanan'ny Tantsahan'ny Menabe) et VFTM (Vondron'ny Fikambanan'ny Tantsahan'ny Menabe). A ce stade de la recherche, l'analyse de la composition chimique des biomasses n'est pas encore réalisée.

RESULTATS : les acquis en termes de connaissances par rapport aux thématiques de la Gouvernance et Développement Humain Durable - savoirs scientifiques, savoirs locaux, savoirs techniques ; les résultats obtenus par rapport aux résultats attendus, les résultats non attendus mais obtenus.

Les résultats principaux sont relatés ci-après :

- La méthode fixée pour l'inventaire des biomasses n'est pas valable. La délimitation de la zone d'étude suivant le rayon de 30km autour de l'usine de production de sucre ne peut plus être retenue. En effet, les activités agricoles et donc les biomasses sont regroupées de part et d'autre (nord et sud) du Dabaraha. Le sol est dominé par des prairies boisées au-delà de 5km vers le nord ou sud de Dabaraha. Par ailleurs, c'est l'existence même de ce cours d'eau permanente qui assure le fonctionnement de l'usine de production de sucre et l'irrigation des rizières aux alentours. Au final, les biomasses inventoriées sont celles contenues dans le polygone rouge représenté dans la carte en annexe. Cette délimitation est d'autant justifiée par l'existence de routes communales, un critère primordial dans le choix d'implantation d'une bioraffinerie;
- La zone d'étude concerne deux districts : Morondava et Mahabo. Le district de Mahabo est constitué par 4 communes dont Mahabo qui est grande productrice de riz et accessoirement de pois du cap. La commune d'Ankilivalo est productrice d'arachides ;
- Les sous-produits agricoles n'ont pas de valorisation particulière en termes de spéculation mais sont pour la plupart utilisés dans l'alimentation animale. Il en va de des gousses de pois du cap et de haricot, de la paille de riz qui est en plus utilisée dans la construction des maisons. Le son de riz sert de combustible pour la fabrication de briques. La coque d'arachide fait l'exception. Elle est laissée sur les lieux de décorticage. La filière arachide est organisée en producteurs d'arachides, en collecteurs et en decortiqueurs et à la fois producteurs d'huile d'arachide.
- Les activités d'apiculture sont en pleine expansion proportionnellement au développement de la plantation de canne à sucre. Le regroupement des paysans apiculteurs est une priorité locale pour faire face au marché;
- Les documents obtenus ne montraient pas les détails des étapes du process de production de sucre et de distillation de l'usine hôte. Mais avec le concours des cadres de production, les diagrammes des procédés ont été établis. Cela a constitué l'un des plus gros défis du stage. Par contre, des données notamment celles relatives à la consommation énergétique pour chaque unité opératoire restent manquantes et ne peuvent être obtenues que par lecture directe en cours de fonctionnement.
- Par rapport aux pratiques de l'usine, des gaspillages en énergie ont été constatés. Par exemple, dans la distillerie, l'alcool est produit à un taux très élevé en pureté (classé parmi les alcools déshydratés) alors qu'il est par la suite dilué pour être ramené à un degré alcoométrique plus bas. Une économie de bagasse pourra être envisagée. Par ailleurs, la bagasse sortant des moulins de l'usine est directement acheminée vers les chaudières contrairement aux pratiques retrouvées dans la littérature qui recommandent un séchage préalable avant la combustion. Ces deux points offrent la possibilité d'une économie de bagasse. Ce qui permettra plus tard de dégager un peu plus de matières premières pour la bioraffinerie ;
- Des restes de bagasse de la dernière campagne ont été constatés. Ce qui justifie l'état excédentaire de la bagasse par rapport à la quantité nécessaire à la production d'énergie de l'usine. C'est un fait qui renforce le choix d'intégration d'une bioraffinerie ;
- La vinasse est considérée comme un effluent de l'usine. Ce point sera examiné par la suite de l'étude;
- Il semble que la quantité importante traitée par l'usine est en contradiction avec la vétusté des installations (absence de programmation/automatisation).

ACQUIS PERSONNELS : pratiques relationnelles, développement personnel, ouverture professionnelle

Au titre de partage de réflexions par rapport à la coopération entre la recherche et le secteur privé, on peut penser que proposer une innovation dans une entreprise ne peut être que bien accueilli par le promoteur et qu'il est ainsi facile de convaincre son adhésion à emboîter la démarche relative dans le cadre d'une recherche. Pourtant, le stage n'a pu avoir lieu qu'après de longue tractation et une première descente sur site infructueuse. Divers facteurs peuvent avoir contribué à cette situation. A notre sens, le premier facteur serait l'absence de cadre de coopération clair justement dans ce type de partenariat. On pourra aussi penser à la fragilité financière qui ne laisse pas pour le moment entrevoir une capacité de développement de l'entreprise. Dans un tel contexte, la proposition d'une innovation quelconque reste une simple option et ne sera tenue en compte que si elle aura dans le concret fait ses preuves dans d'autres régions, d'autres cas similaires... L'absence de résultats concrets et qui pourront être mis en œuvre de suite au terme de la recherche.

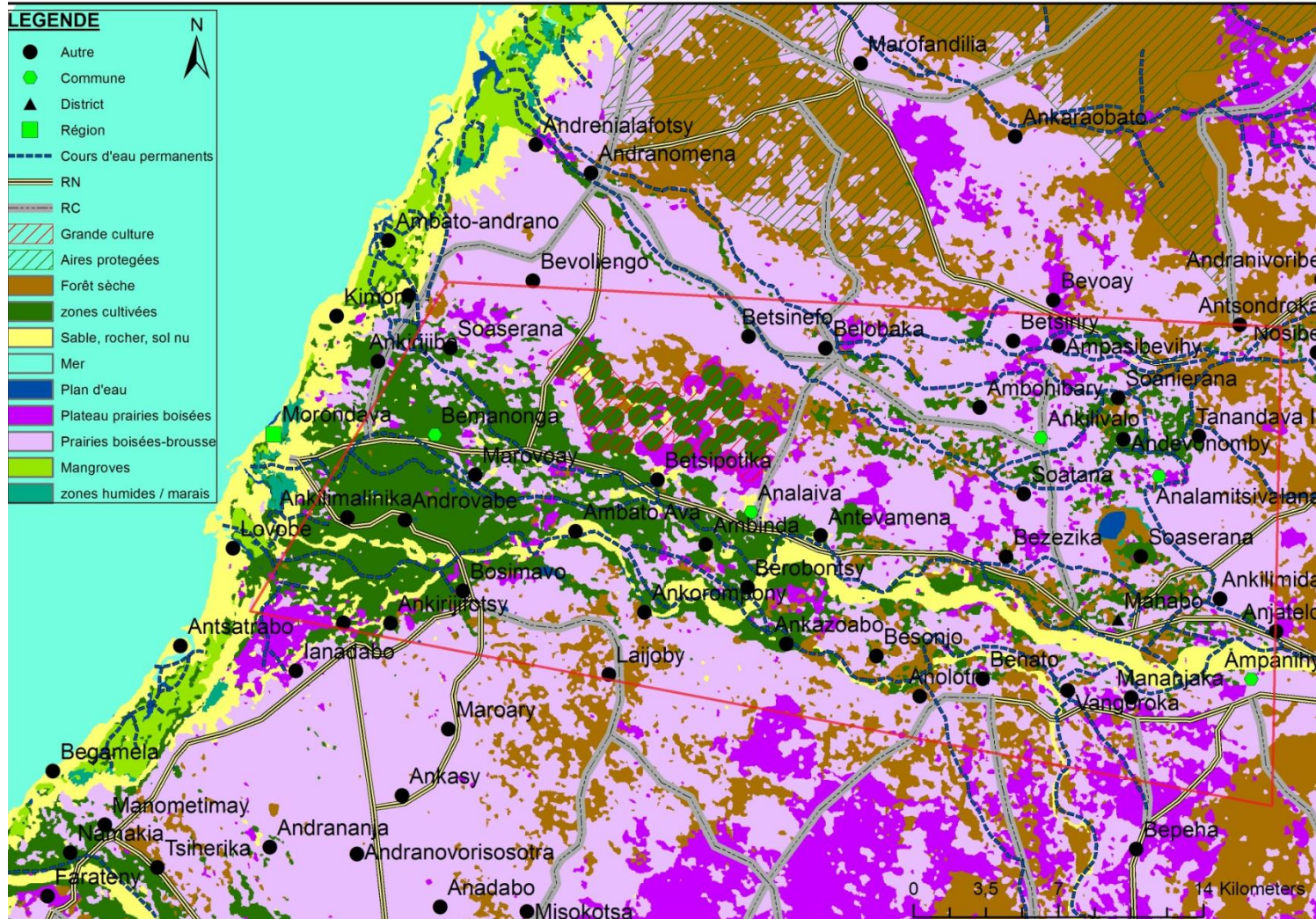
Certes, le stage a constitué, sur le plan relationnel, une expérience très positive en matière de négociation et de persévérance. Mais, la réalisation des activités prévues a été affectée et les résultats restent limités par le délai de mise en œuvre court des suites notamment des hésitations et des discussions précédant le stage et ce, malgré l'existence de l'accord du siège. Pour notre cas, la principale leçon apprise est ainsi la nécessité d'élargir à un niveau de projet plutôt que de stage pour bien ancrer la coopération de recherche et éclaircir les obligations des parties concernées.

PERSPECTIVES : les points à approfondir davantage, les autres domaines concernés par le sujet

La bourse GDHD a constitué un appui essentiel à la recherche car en rendant financièrement possible le stage, un pas significatif dans la mise en œuvre de la thèse a été effectué. Néanmoins, d'autres points restent à approfondir dans le cadre de cette thèse. Il s'agit essentiellement de poursuivre la simulation de l'usine sucrière qui sera appelée à recevoir la bioraffinerie et de développer la simulation de l'intégration de la bioraffinerie. Ces deux points nécessitent d'autres stages dont l'objectif est en premier lieu, par rapport à l'usine réceptrice, d'analyser les réseaux d'utilitaires, de faire un étalonnage par comparaison des données de simulation avec celles de l'industrie, de faire un ciblage par analyse de pincement (thermique et eau), d'identifier les inefficacités existantes, d'évaluer les projets d'amélioration avec des modifications de paramètres opératoires si nécessaire; en deuxième lieu, par rapport à l'unité de bioraffinage, il s'agira de la validation de la simulation développée.

Un aspect que nous jugeons tout à fait nécessaire à traiter car complémentaire à ce sujet est la partie expérimentale. Cette dernière consiste à faire des essais au laboratoire relatifs aux étapes opératoires décrites dans la simulation.

ANNEXE



Carte : Occupation du sol – Délimitation de la zone d'étude