

Sommaire

Remerciements.....	2
Introduction :.....	4
I) Contexte	5
1. La culture de canne à sucre	5
1.1 Contexte mondial	5
1.2 Contexte réunionnais	7
2. Acteurs de la filière à La Réunion	9
3. Croissance démographique, pression foncière et culture de canne.....	11
II) Planter dans les Hauts	13
1. Définition des Hauts	13
2. Les variétés présentes à La Réunion et R583	16
3. Répartition géographique des variétés, nouvelles plantations.....	18
III) Projection géographique	23
1. Contexte d'étude.....	23
2. Choix de la zone d'étude et problématique	24
3. Découpe de la zone d'étude.....	25
4. Station météo et données de température	26
4.1 Localisation des stations sur le territoire	26
4.2 Choix de stations pour l'étude.....	27
5. Zonage final	27
6. Méthode de calcul et indices utilisés	29
6.1 Méthode d'affectation d'une station à un polygone :	31
6.2 Traitement des données météorologiques :	32
7. Résultats :	33
Conclusion	36
Bibliographie.....	38
Table des illustrations.....	40
Annexe 1 : Relations Entre l'altitude Et La Temperature Mensuelle De l'air Dans l'ouest De La Reunion. ...	42
Annexe 2 Effet de la température seuil de développement sur la répartition géographique d'une variété .	49
Résumé	63

Introduction :

Ce stage de 6 mois s'est déroulé au CIRAD de Saint Denis de La Réunion du 8 février au 8 août 2012, au sein du pôle risque environnemental, agriculture et gestion intégrée des ressources (pôle REAGIR), département Performances des systèmes de Production et de Transformation (PERSYST).

A La Réunion le CIRAD a pour principale mission le développement de l'agriculture dans l'île tout en tentant de répondre aux différentes attentes des partenaires agricoles en terme de protection des cultures, de rendement et de qualité de production.

La canne à sucre demeure une culture d'intérêt majeur à La Réunion et se trouve face à une contrainte d'espace due à la topographie de l'île et à l'urbanisation, les espaces urbanisables où sont plantés les cannes sont donc fortement convoités.

De récentes variétés libérées par le centre de sélection de canne à sucre pour La Réunion (eRcane) ont une très bonne adaptation sur les terrains situés en altitude (R 583 pour zones > 600 m sur la zone Ouest et R 585 pour zones > 200 m pour l'Est) avec une augmentation moyenne des rendements de plus de 20 % en rapport aux précédentes variétés.

C'est dans ce cadre de recherche que s'insère la thèse de Christophe Poser, chercheur au CIRAD. L'hypothèse de recherche de C Poser s'appuie sur le fait que l'adaptation de ces nouvelles variétés résiderait dans leur capacité à mieux s'adapter aux températures basses, à mieux les valoriser durant leur installation notamment au départ de la culture, dès la plantation, en phase de levée des boutures

Mon travail à donc fait partie intégrante avait pour principales missions :

- La constitution et la structuration la base de données SIG en récoltant des informations des différents acteurs de la filière canne à sucre sur l'île de La Réunion
- L'étude de l'implantation actuelle de la canne dans les Hauts, campagne de replantations, variété, statistiques et production de cartes thématiques.
- La production à partir des données de températures, des cartes représentant l'aptitude de R583 dans les Hauts (Traitement des données météorologiques et la détermination d'une méthode d'analyse des données sur SIG).

Le stage devait permettre l'élaboration de cartes thématiques répondant aux questions sur le développement géographique de ces nouvelles variétés et participant aux travaux de recherche en cours de mon responsable de stage sur l'adaptation de nouvelles variétés et des techniques aux conditions d'altitude.

Les intérêts de ce stage sont multiples, tout d'abord connaître la répartition actuelle des variétés de canne dans les Hauts de l'île, les surfaces associées dans l'optique de diffuser l'information. L'utilisation de l'outil SIG pour traduire dans l'espace les résultats d'un modèle agronomique. La mise en valeur de données agronomiques à partir de données météorologiques traitées avec le SIG. Puis la définition d'une nouvelle méthodologie d'analyse de données météorologiques, de définition d'un nouveau zonage adapté à la problématique nous intéressant.

Dans une première partie nous présenterons le contexte global dans lequel s'insèrent ces travaux. Dans une deuxième partie nous verrons ce que sont les Hauts de l'île de La Réunion et nous étudierons les variétés de cannes implantées et leur répartition géographique. Puis dans une troisième partie nous nous pencherons sur le travail de zonage et de projections géographiques des résultats agronomiques, travail effectué sur les Hauts de l'Ouest avec R583, nouvelle variété adaptée à cette zone.

I) Contexte

1. La culture de canne à sucre

1.1 Contexte mondial

La canne à sucre est la première plante cultivée au niveau mondial dans 72 pays, avec 23% de la masse totale produite en agriculture soit 1,7 milliard de tonnes de cannes sur environ 20 millions d'hectares (Sources O.I.S.), les plantations de canne à sucre produisent 1,4 millions de tonnes de sucre chaque année (source : <http://www.planetoscope.com>)

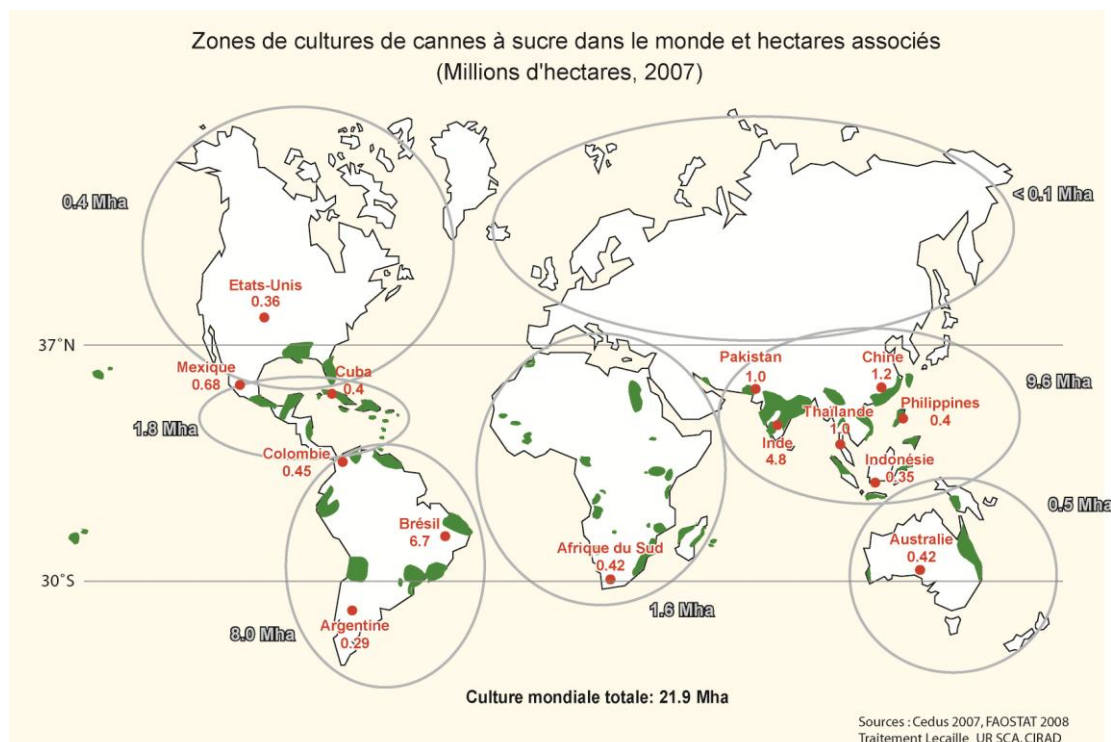
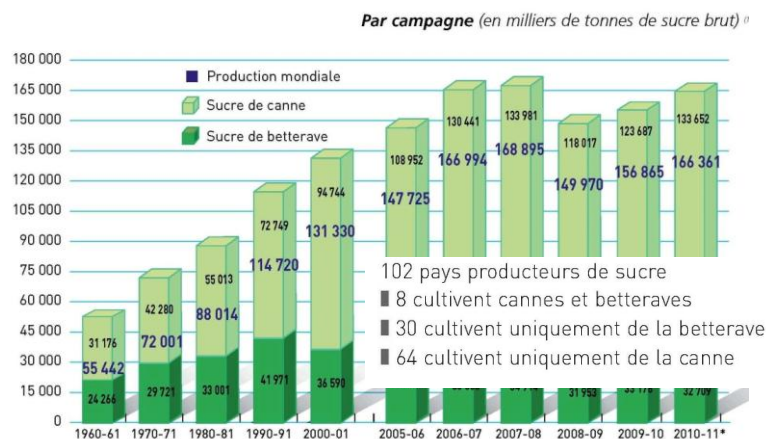


Figure 1. Répartition géographique des cultures et principaux pays producteurs. Sources F.O. Light

Jusqu'au début du XIXe siècle elle est la seule source importante de sucre et représente encore aujourd'hui 80% du marché sucrier contre 75 % en 2005 (F.O. Licht 2011) vis-à-vis de la betterave (Cf. figure 2).

Les terres cultivées pour la canne à sucre sont en augmentation constante. Au Brésil, plus grand



*estimation

Figure 2. Evolution de la production sucrière mondiale

producteur de canne à sucre et de bioéthanol, les nouveaux espaces agricoles dédiés à la culture de canne représentent 75 % du total des nouveaux espaces dédiés dans le monde (Zuurbier and van de Vooren, 2008).



Brésil: Exploitation de canne à sucre pour la production d'éthanol [FAO/G. Bizzarri]

Les surfaces cultivées augmentent du fait de l'apparition de nouveaux débouchés économiques avec notamment la production de bioéthanol obtenu à partir du sucre ou de la plante entière mais également les bioplastiques, la production de papier, production d'énergie électrique etc...

La production d'Ethanol reste néanmoins le principal « nouveau » marché, porté par le développement durable et la recherche de nouvelles sources d'énergie. La production est en nette augmentation avec un doublement des hectolitres produits entre 2005 et 2010 (457 220 milliers en 2005 et 993 900 milliers en 2010).(Figure 3)

Dans le même temps la consommation mondiale annuelle de sucre augmente et se situe autour de 168 millions de tonnes en 2012 , elle progresse à un taux relativement stable de 2.3% en moyenne l'an sur les 6 dernières années, consommation tirée notamment par les marchés émergents d'Asie et l'augmentation démographique mondiale.

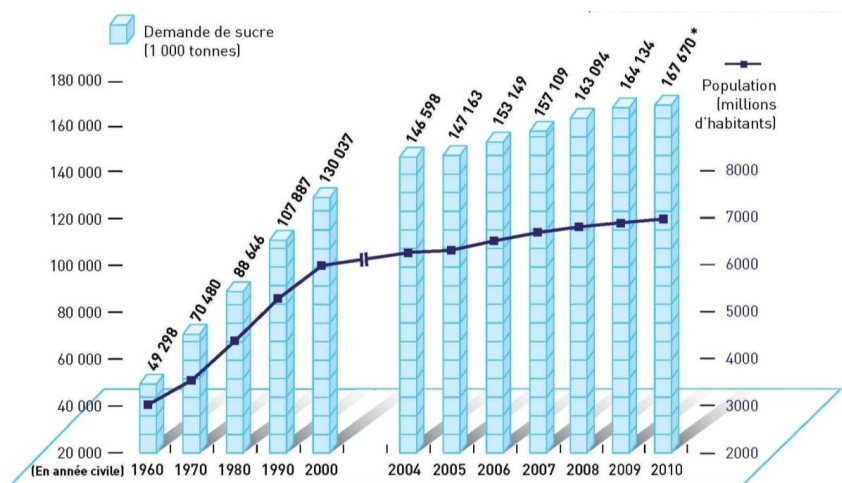


Figure 3. Demande de sucre dans le monde estimation (en millier de tonnes de sucre brut)

1.2 Contexte réunionnais

La culture de la Canne à sucre apparue au début du 19^{ème} siècle a peu à peu remplacé les plantations de café. En 1810, les troupes britanniques, victorieuses des guerres de l'Empire, s'emparèrent de La Réunion et y introduire la plante, l'île ne revint à la France que cinq années plus tard qui poursuivit la culture de la canne impulsée par les Anglais.

Appartenant à de grands propriétaires colons ou d'importantes sociétés sucrières, les plantations de cannes à sucre gagnent du terrain de 1830 à 1860, et font appel à de plus en plus de main d'œuvre ainsi qu'au développement de techniques nouvelles. La production croît régulièrement et la canne devient la première richesse de la colonie.

Avec le mouvement de décolonisation, les terres sont redistribuées à des agriculteurs au travers d'une réforme foncière. Petit à petit, les terres à canne exploitées par les colons sont devenues bail à ferme et le remembrement des exploitations agricoles permet d'unifier les parcelles. Rapidement la canne à sucre réunionnaise est confrontée à la concurrence de la betterave à sucre cultivée en métropole et il faudra attendre la seconde guerre mondiale pour relancer véritablement l'industrie sucrière réunionnaise (<http://reunion.interactive.voila.net>)

De nos jours La Réunion est le premier producteur français de canne à sucre devant la Martinique et la Guadeloupe. Culture traditionnelle de l'île, elle fait aujourd'hui partie intégrante des paysages, de son identité et de son économie.

Selon l'INSEE, plus de 4% de l'emploi réunionnais dépend directement ou indirectement de la filière canne-sucre-rhum (Figure 4). Seule filière résolument tournée vers l'extérieur, elle réalise les deux tiers des exportations de La Réunion.

De plus la valorisation énergétique du co-produit « bagasse » permet d'alimenter deux centrales thermiques pendant la campagne sucrière, participant à la couverture des besoins en électricité de l'île (environ 12 %). La filière exploite aussi un terminal sucrier (Eurocanne) et trois distilleries industrielles (Savanna, Rivière du Mat, et Isauthier).

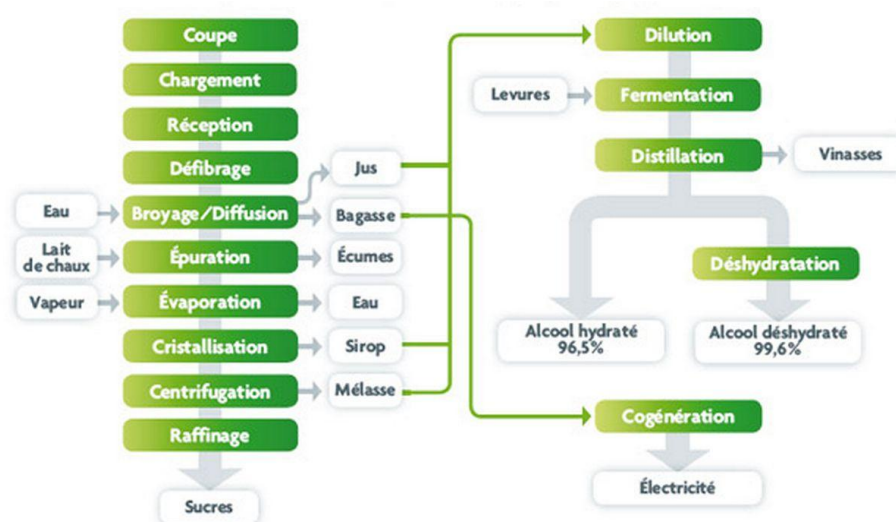


Figure 4. Le cycle de transformation de la canne. Source : Téreos Ocean Indien



Figure 5. Localisation des cultures de cannes sur l'île de La Réunion

La culture de la canne est présente dans les plaines littorales de l'île (Figure 5) et sur les pentes les plus accessibles, à une altitude peu élevée (pas plus de 500m d'altitude à l'est et 700m à l'ouest).

La surface plantée en 2011 représentait 24 336 ha, soit 57% de la surface agricole cultivée sur l'île. La principale caractéristique est le fait que les exploitations sont réparties en petites parcelles (La taille moyenne d'une exploitation « familiale » est de 7,2 hectares) exploitées par environ 3473 planteurs polyvalents ou spécialisés. Les rendements (70 à 80 t/ha en moyenne) restent très hétérogènes sur l'île (Tableau 1) selon la zone et la campagne, en raison, notamment, de la forte diversité agronomique, climatique et technique des zones de production (source : DAAF Réunion).

Tableau 1. Récapitulatif 2011 des rendements par classe de rendement (source : CTICS - Mars 2012)

Classe de rendement (t/ha)	Nombre de planteurs	Nombre de parcelles	Surfaces (ha)	Rendement moyen (t/ha)
Inférieur à 50	506	1217	2977	34,2
50 à 80	1158	3265	9623	66,8
80 à 120	1260	3563	9496	95,5
120 à 150	183	436	1094	129,5
Supérieur à 150	48	85	200	208,8

Le résultat de la campagne 2011 (1,887millions de tonnes de cannes et 210 000 t de sucre) reste satisfaisant pour les professionnels du secteur puisque, malgré une période de sécheresse de fin d'année 2010 qui a impactée la repousse des parcelles de cannes, les tonnages récoltés reste supérieurs à la moyenne décennale (Figure 6)

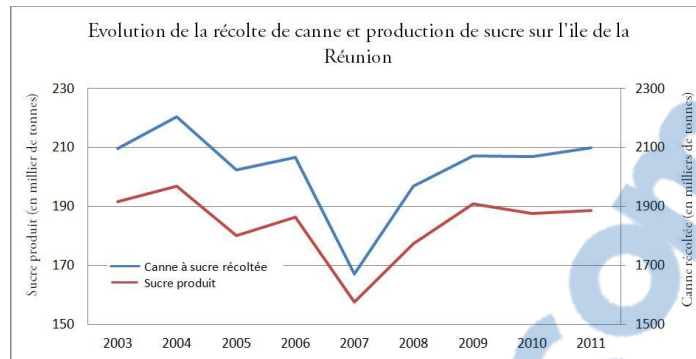


Figure 6. Evolution de la récolte de canne et production de sucre sur l'île de La Réunion. (Sources : DAAF réunion et Office de Développement de l'Economie Agricole D'Outre-Mer)

Ces résultats restent inférieurs à ceux, historiques de 2004 (1,969 millions de tonnes de canne) mais la production retrouve un bon niveau de performance depuis 2009 après une année 2007 particulièrement difficile tant par les conditions météorologiques que par des événements de catastrophes naturelles (cyclone "Gamède" et l'éruption volcanique). La production, est en effet fortement dépendante des aléas du climat et de l'évolution des surfaces effectivement exploitées.

Deux usines, propriétés du groupe TEREOS Océan Indien depuis 2001 pour la Sucrierie de Bois-Rouge et 2010 pour la Sucrierie du Gol, se répartissent le traitement de la canne à sucre produite et acheminée jusqu'aux centres de collecte par les canniers. L'usine de Bois Rouge brasse les récoltes de la région "au vent" ainsi que les cannes issues du centre de réception du Grand Pourpier (Nord-Ouest), soit 51,4% du tonnage total, tandis que l'usine du Gol traite la production des bassins du Sud et de l'Ouest, soit 48,6% de la production totale. (Figure 7)

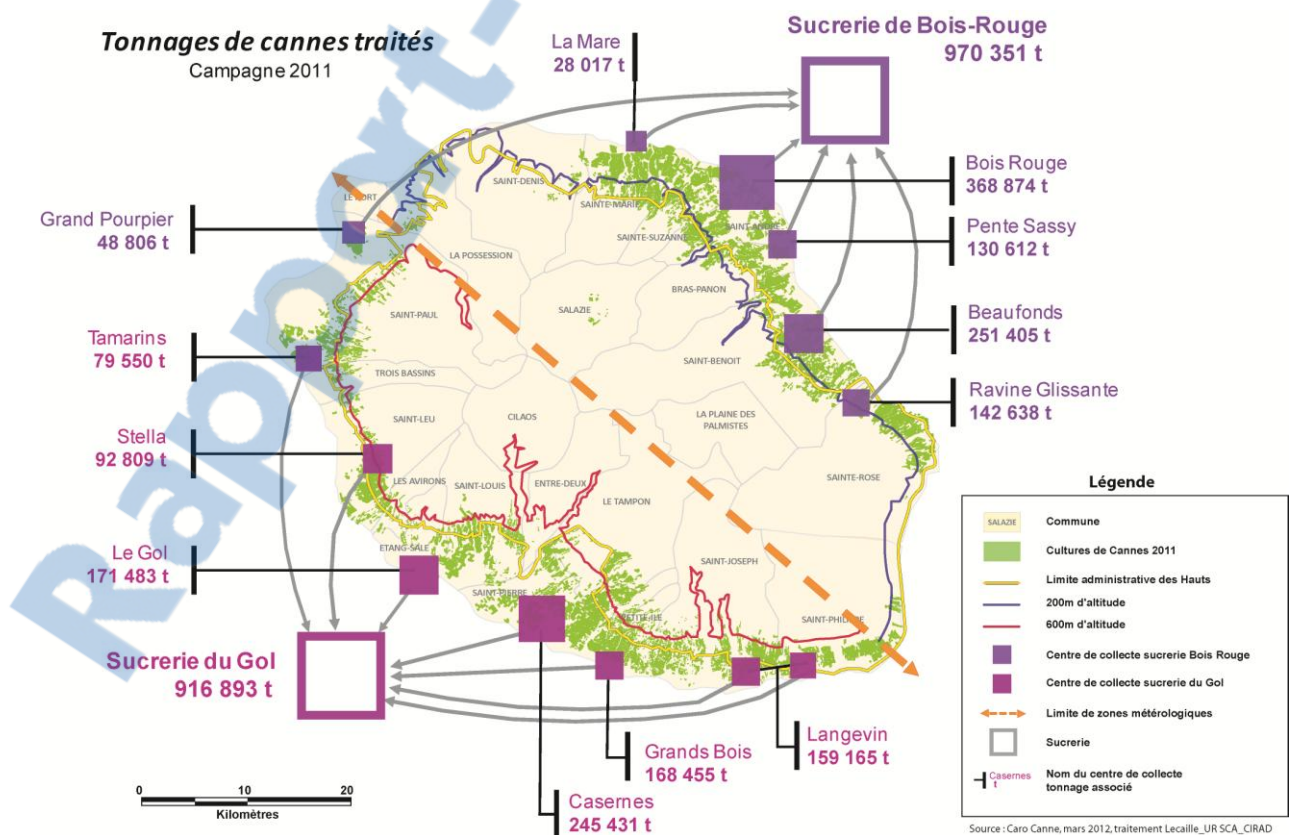


Figure 7. Répartition des centres de collectes et tonnage respectifs. (source : caro canne)

2. Acteurs de la filière à La Réunion

Acteurs de la filière canne à la Réunion : relations et fonctions

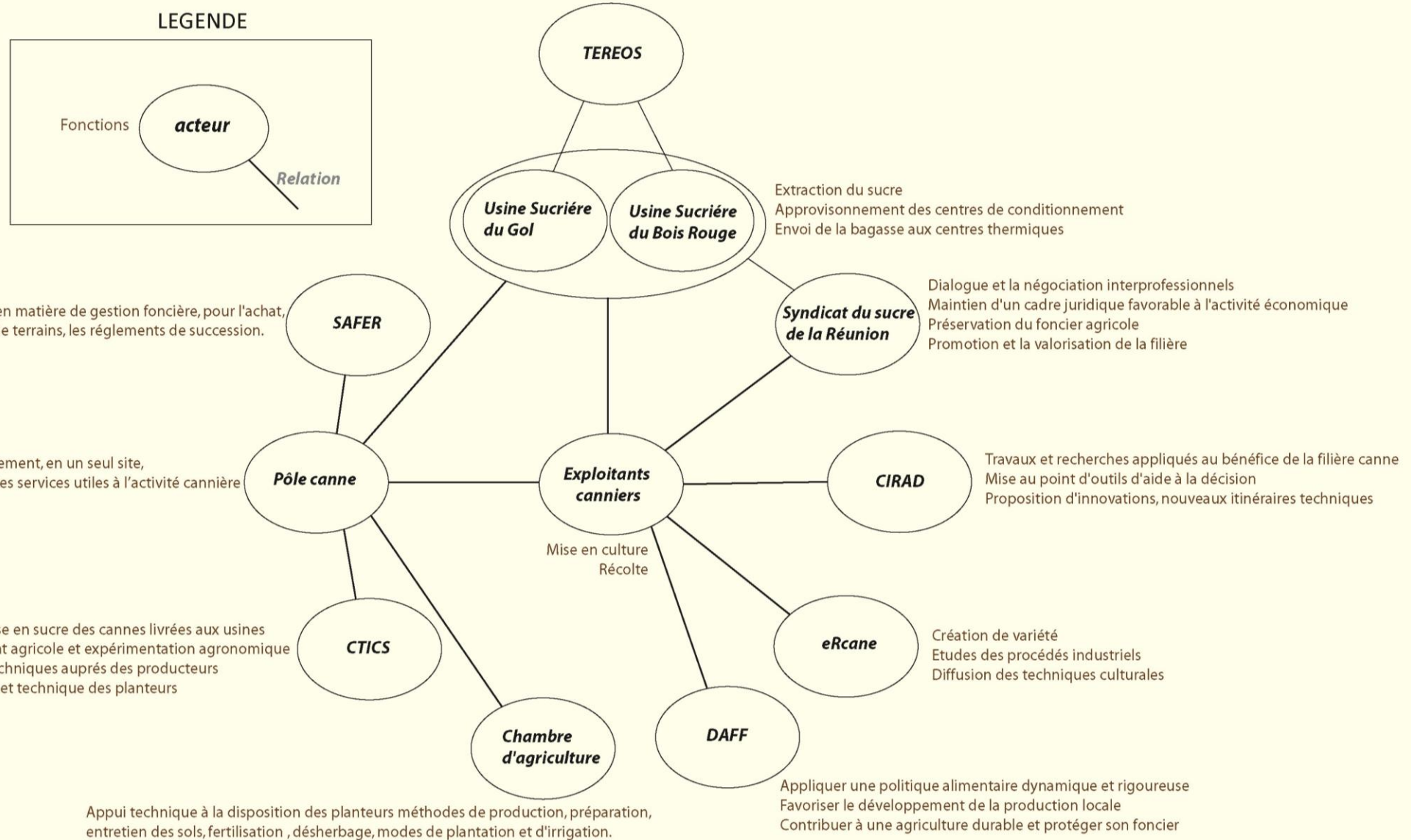


Figure 8. Acteur de la filière canne à La Réunion

3. Croissance démographique, pression foncière et culture de canne

Le recensement a dénombré 816 364 habitants en 2009, installés pour la plupart sur la bande littorale et les basses-pentes aux pourtours de l'île. Les pentes étant vite très importantes et le territoire disponible entrecoupé par de profondes ravines et de nombreuses rivières.

La population réunionnaise continue d'augmenter, sous l'effet du croît naturel de la population, égale à 1,5% par an (Tableau 2 IEDOM, 2011) et du solde migratoire positif, égale à 0,2% par an (INSEE, 2011), d'environ 10 000 personnes par an, elle pourrait dépasser le million d'habitants à l'horizon 2030.

Tableau 2. évolution de la population, densité et nombre de logement de 1967 à 2009. Source : INSEE

	1967	1974	1982	1990	1999	2009
Population	416 525	476 675	515 814	597 823	706 180	816 364
Densité (hab/km ²) moyenne	166,4	190,4	206,0	238,8	282,1	326,1
Nombre de logement	91 509	115 505	140 950	176 570	238 196	314 053

La construction de logement et de complexes immobiliers sur les terres accessibles, les investissements en infrastructures et aménagement ainsi que la construction d'entreprises sont donc les conséquences directes de cette démographie galopante et forment une concurrence directe avec l'activité agricole.

Par conséquent, malgré les recommandations du Schéma d'Aménagement Rural (SAR), la Surface Agricole Utile a diminué de 12% entre 1989 et 2005 (moins de 500 à 1000 hectares par an). En une décennie, on enregistre une perte de 36% du nombre exploitations présentes sur l'île, phénomène qui touche particulièrement les petites exploitations de moins de 2 ha (Bonnal et Al, 2003).

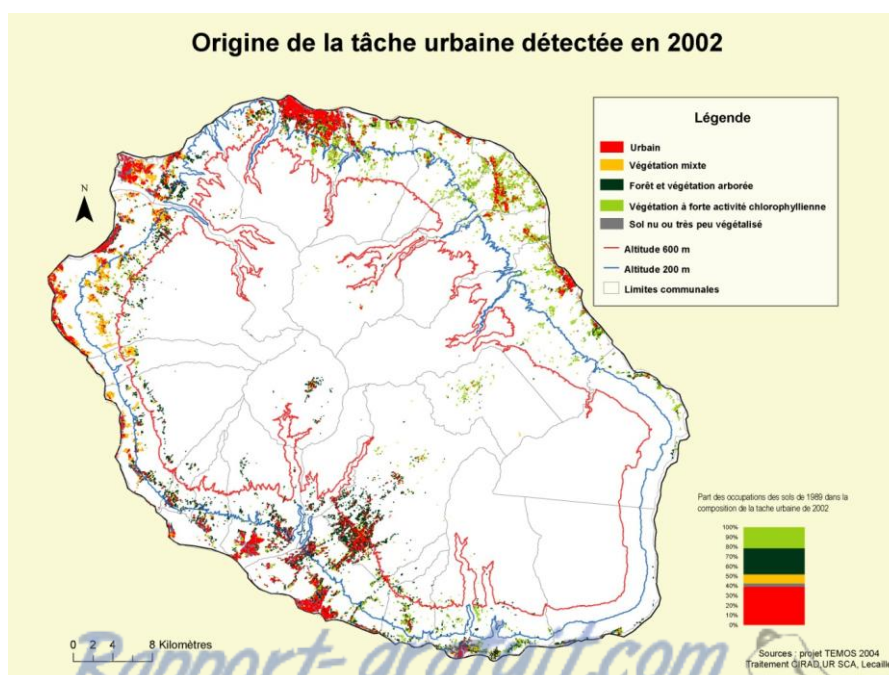


Figure 9. Evolution des espaces agricoles entre 1989 à 2002. Source : Martignac 2006.

Différents types d'occupation des sols : Canne à sucre et pâturage lié à l'élevage pour la végétation à forte activité chlorophyllienne, forêt et végétation arborée, végétation mixte, sol nu et peu végétalisé ont été convertis en espace urbain (Figure 9).

L'urbanisation a notamment affecté des espaces dans le nord-est de l'île (Martignac, 2006) où l'occupation des sols par la canne à sucre était la plus forte.

Le défi est de taille car la filière réunionnaise souhaite se maintenir à un niveau de production suffisant pour rentabiliser son outil industriel. L'objectif est donc de conserver la même superficie totale sous culture voire même d'étendre les surfaces de culture approvisionnant les deux usines et/ou de produire plus par unité de surface

L'amélioration variétale de la canne apparaît comme étant une solution au problème d'aménagement du territoire. En effet, au vu de l'emprise de l'urbanisation dans les zones plus faciles à aménager : la zone littorale, il est nécessaire de conquérir de nouvelles terres valorisables pour la canne pour compenser les pertes de surface.

Or, les espaces propices et libres sont principalement des terrains en friche, situés le plus souvent en altitude et peu de variétés réellement adaptées à ces milieux existent.

II) Planter dans les Hauts

1. Définition des Hauts

Nous définirons géographiquement les Hauts de l'île de La Réunion suivant les limites altitudinales de 200 mètres pour la coté Ouest et 600 mètres pour la côte Ouest.(Figure 10)

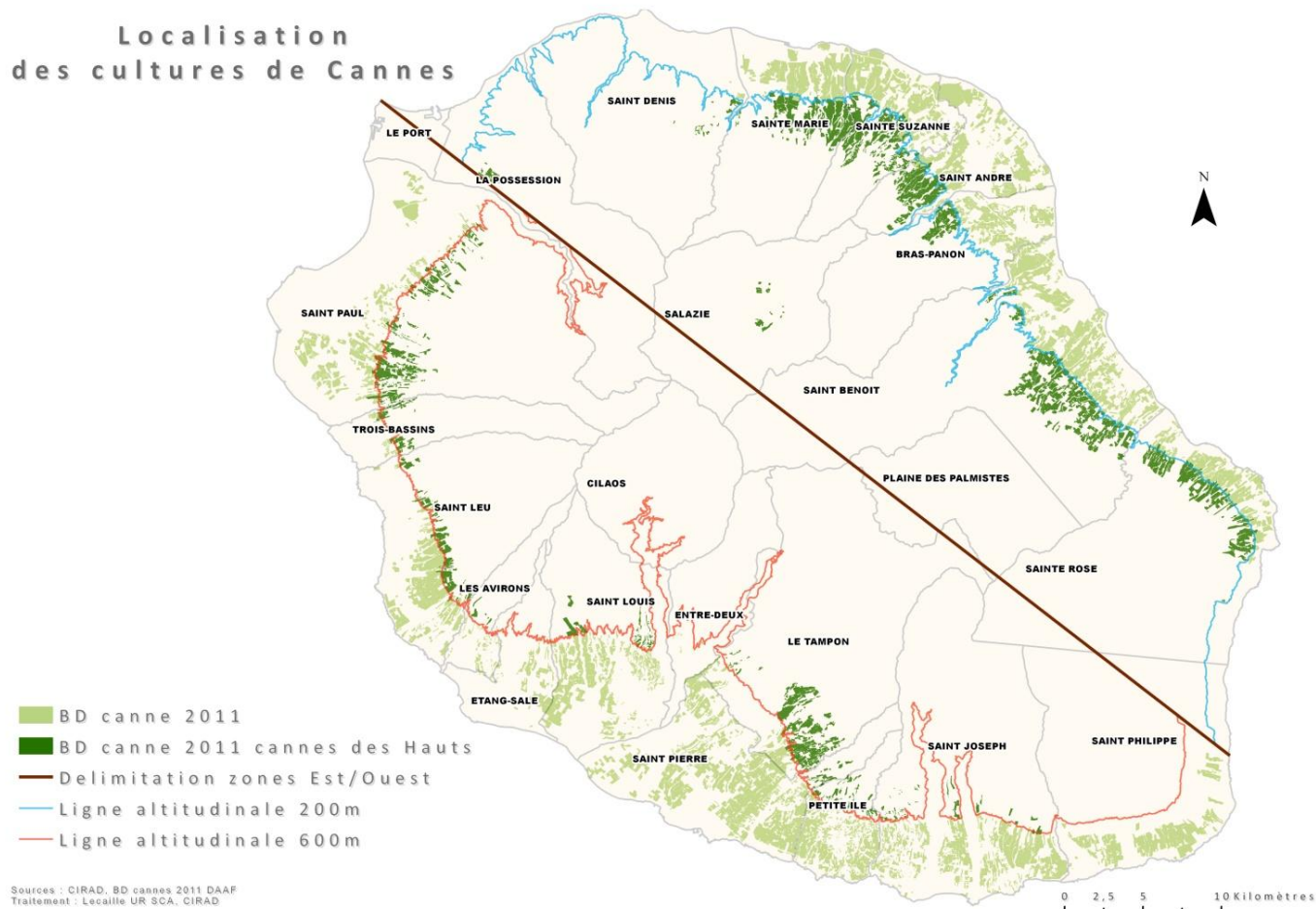


Figure 10. Limites des Hauts de La Réunion et culture de cannes

Dans cette zone est située 26% de la sole cannière soit 6540 ha représentant 20% de la production.

Le fait que les rendements soient plus faibles dans les Hauts peut s'expliquer par deux facteurs principaux :

- Jusqu'alors la sélection variétale ne permettait pas de sélectionner des variétés adaptées aux zones d'altitude, le programme de sélection étant majoritairement sur le site de la Bretagne, zone littorale irriguée.
- Le climat qui prévaut dans les hauts est pénalisant pour la culture de la canne. Température plus basse (inférieur de 5 à 6 °C), ensoleillement réduit (moins 30%) et apports en eau irréguliers et mal répartis.

Une limite altitudinale différente entre l'est et l'ouest est due au contraste de climat entre ces deux zones.



Figure 11. La côte sous le vent et la côte au vent. Source : Wikipédia

- la côte Est dite côte aux vents reçoit ainsi une importante pluviométrie (plus de 5000 mm par an) et est exposée aux alizés, vents chaud venant de l'Equateur (source : Météo France).
- la côte Ouest, côte sous le vent, ne recevant que 750 mm d'eau en moyenne par an est semi-aride. Elle est la plupart du temps, protégée des vents dominants par le relief montagneux de l'île. Des circulations d'air faibles et complexes s'organisent et orientent le vent avec des directions variables sur les rivages de la côte sous le vent.

L'érosion a formé de profondes ravines tout au long du rivage et au fond des cirques, le climat est modulé par l'exposition aux alizés et par l'altitude.

Les plaines d'altitude et les cirques profitent d'un climat frais. La variabilité interannuelle des pluies est considérable. Les contrastes topographiques et la répartition des précipitations et des températures sur le territoire sont des éléments structurants tant sur le plan naturel que sur l'évolution et la progression des hommes et des activités telle que l'agriculture (Vessière, 2010).

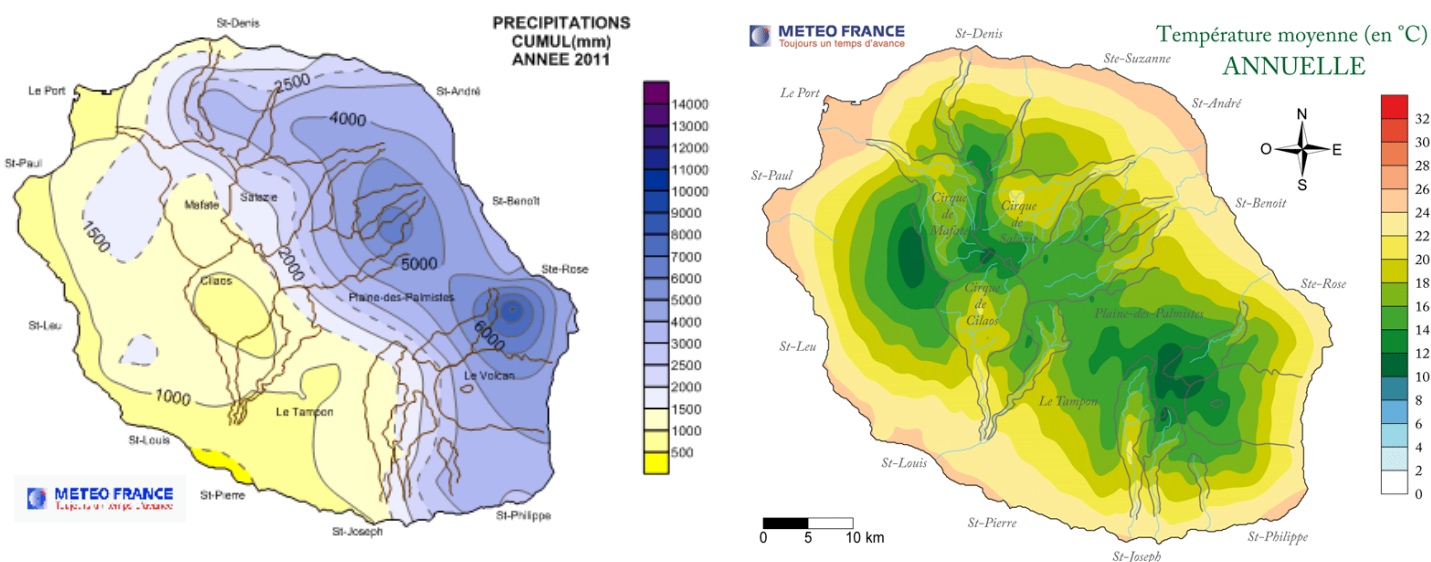


Figure 12. Répartition des précipitations et températures annuelles. Source Météo France

Les Hauts sont confrontés à des températures relativement fraîches, particulièrement durant l'été austral. La différence de températures moyennes (minimales) interannuelles décennales sur les 10

dernières années entre les relevés d'une station météorologique des Hauts de l'Ouest (Colimaçons : 800m) et une station située sur le littoral (La Mare : 10m) est de l'ordre de 6°C. (Figure 13)

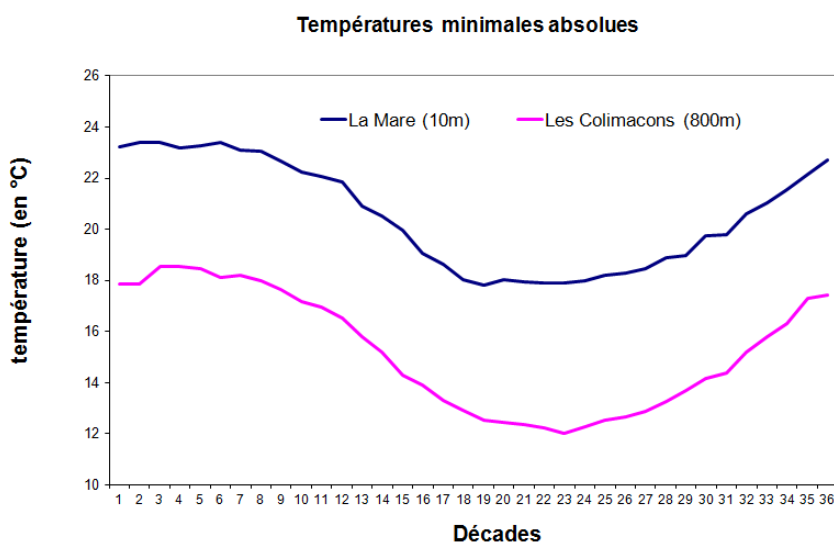


Figure 13. Moyenne des températures décadaires minimum sur 10 ans pour les stations météorologiques des Colimaçons (800 m) et La Mare (10 m).

Les précipitations pour les Hauts sont caractérisées par leurs répartitions déséquilibrées sur l'année et leurs irrégularités d'une année sur l'autre. Durant certaines périodes de l'année, les précipitations ne suffisent pas à compenser l'évapotranspiration. Ces périodes de déficit hydrique ne sont pas propices à la plantation de la canne à sucre.

La présence de masses nuageuses et l'effet de Foehn va concentrer la présence de ces derniers sur les Hauts réduisant ainsi le rayonnement solaire disponible pour les plantes qui peuvent être privées jusqu'à 30 % du rayonnement journalier comparé à la zone littorale.

Outre les contraintes climatiques qui pénalisent la culture de la canne à sucre dans les Hauts de l'Ouest, il existe une forte concurrence avec les adventices toujours mieux adaptées aux contraintes thermiques et radiatives de ces zones.

2. Les variétés présentes à La Réunion et R583

Depuis 1929, La Réunion bénéficie d'un organisme qui apporte à la filière un appui technique, technologique et génétique de pointe et facteur de progrès décisifs. « eRcane » depuis 2009 (anciennement CERF), ce centre d'essai, de recherche et de formation porte à son actif la mise au point de nombreuses variétés de canne à sucre au sein de ses stations d'essais, dont la R570 qui est aujourd'hui une variété exportée dans plusieurs pays sucrier comme le Vietnam, le Sénégal...

Après R583 en 2008 spécialement adaptée au Hauts de l'île, R585, dernière née de la « pépinière » eRcane, libérée en 2010, est particulièrement adaptée aux zones difficiles et dans les Hauts de l'Est et du Sud.

Ci-dessous une présentation synthétique des variétés présentes sur l'île et leurs zones de plantation recommandées en fonction de plusieurs critères agronomiques, pédologiques, climatologiques propres à chaque variété et à chaque zone.

Tableau 3. Variétés et zone de plantation. Source : Le catalogue eRcane, cahier technique Carocanne n°22 décembre 2010)

Variété	Date libération	Adaptation et zone de plantation recommandée
R570	1978	Très large zone d'adaptation : zone sèche, irriguée, humide. Pas recommandée aux altitudes supérieures à 550m dans Ouest et Sud et à 300m dans l'Est
R575	1986	Très large zone d'adaptation : littoral Est, zones irriguées, et zone favorable du Grand Sud, terrain humide, sur-humide...
R577	1987	Entre 400 et 700m dans l'Ouest et le Sud de l'île Zone d'adaptation réduite : région sèche, non irriguée de l'Ouest d'altitude moyenne à haute et du Sud
R579	1993	Régions littorales humides ou irriguées. Sa plantation est à proscrire dans les zones sèches ou froides. Fort rendement en canne dans les zones de basse altitude et humide (Nord-Est et Est) ou sous irrigation
R581	2006	Région Sud Ouest, altitude moyenne (à partir de 300m), en zones non irriguées. Région d'adaptation réduite des Avirons à Petite-Île.). A proscrire en zone humide Variété rustique bien mise en valeur sur les terrains difficiles (pentes)
R582	2006	Littoral Est ou littoral Ouest irrigué, zone favorables du Grand Sud Variété à large zone d'adaptation
R583	2008	Hauts sous le vent (zone sèches et non irriguées), à planter au dessus de 500m d'altitude
R584	2009	Ouest et Sud de l'île sous irrigation
R585	2010	En priorité dans les zones difficiles et dans les Hauts de l'Est et du Sud, à proscrire des zones sèches. Zone d'adaptation plutôt large avec de bons résultats sur l'ensemble de l'île.

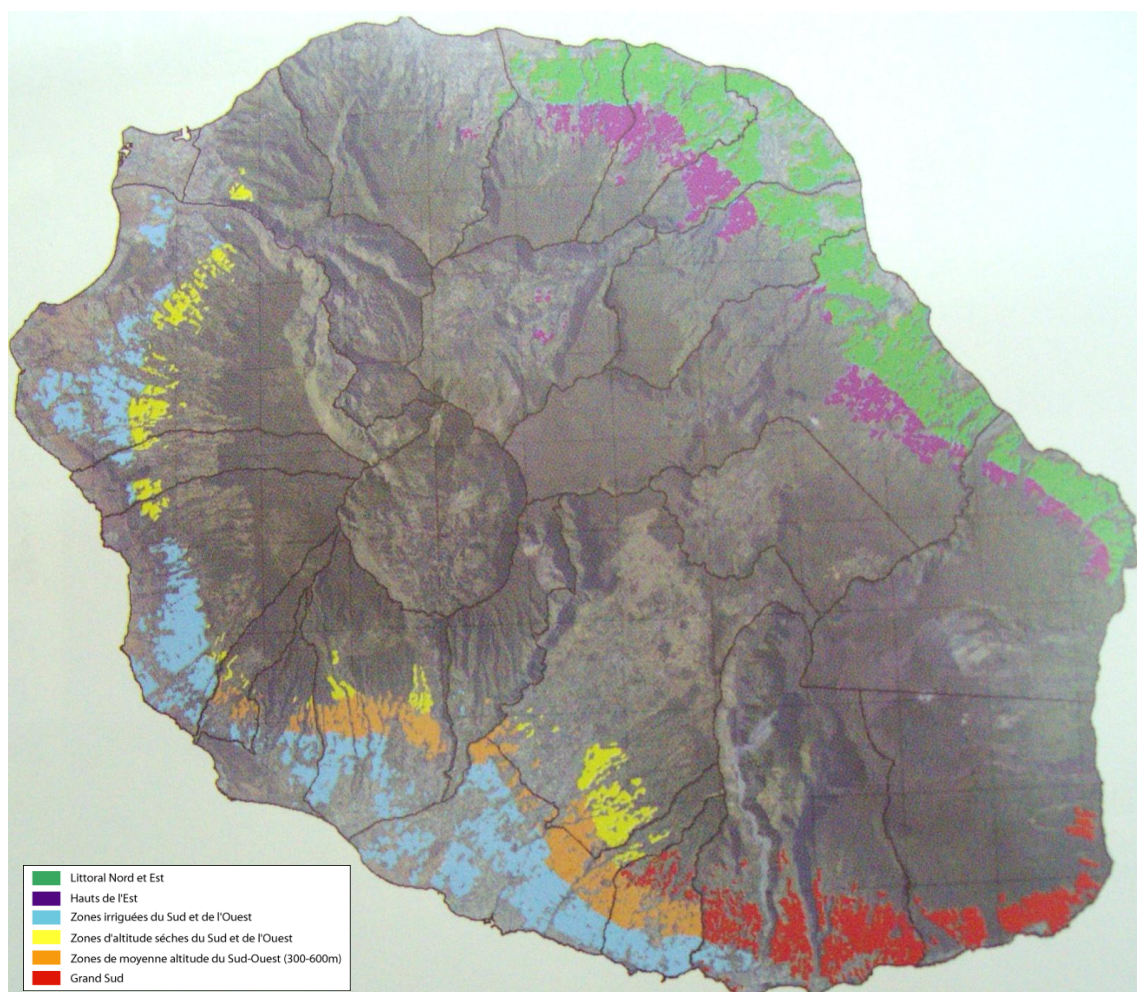


Figure 14. variété et zone de plantation. Source : Le catalogue eRcane, cahier technique Carocanne n°22 décembre 2010)

Zones d'altitudes sèches du Sud et de l'Est : R583, R577

R577 était jusqu'il y a peu, la variété la mieux adaptée à ces zones d'altitude, non irriguées.

La nouvelle variété R583 n'est pas une "Tout Terrain", mais bien adaptée aux zones d'altitude sèches, elle y donne des tonnages souvent importants et de bon rendement en sucre, même en période fraîche.

Sa bonne germination permet d'être dès la campagne suivante sa plantation soit 12 à 14 mois après sa plantation contre 16 à 18 mois contre les anciennes variétés plantées jusqu'alors. En revanche, sa croissance rapide fait qu'elle a tendance à verser lorsqu'elle atteint de forts rendements (> 100 t/ha) ce qui rend difficile les conditions de récolte et altère la qualité de la production.

C'est une variété à cultiver strictement dans sa zone d'adaptation, car elle se révèle très pauvre en sucre à basse altitude

Elle n'a pas de sensibilité particulière aux principales maladies présentes à La Réunion, tolérante au charbon (maladie due à un champignon), en revanche forte sensibilité au rabougrissement des repousses (RSD), ce qui nécessite une plantation à partir de boutures saines, issues d'un schéma de pépinières.

3. Répartition géographique des variétés, nouvelles plantations

Nous présentons ici la cartographie issue de deux bases de données sur la canne à sucre à La Réunion :

- La base de données variété renseignant les variétés se trouvant dans les champs en 2011 avec les surfaces associées à chaque variété. Les informations sont disponibles pour près de 2/3 des îlots canniers et on peut avoir plusieurs variétés par parcelle.

C'est une base de donnée à compléter et qui est construite à partir de données déclaratives que les planteurs ne sont pas tenus de fournir. On peine encore à identifier clairement une variété par parcelle, ce type de donnée n'étant demandé aux planteurs que depuis peu, un temps de rodage est nécessaire demandant des moyens humains et un temps de traitement conséquent.

Néanmoins elle permet d'estimer les surfaces plantées pour chaque variété et surtout leur localisation, C'est un outil nouveau et utile à la gestion raisonnée des surfaces agricoles.

Ainsi on peut voir qu'on retrouve R570, libérée en 1978 par le C.E.R.F, sur une majeure partie du territoire et notamment dans les hauts alors qu'elle est déconseillée au-delà de 550 mètres d'altitude dans l'Ouest. Toutefois les planteurs l'ont plébiscitée au point de la planter sur la quasi-totalité de l'île au début des années 90.

R579 est très présente à l'Est, car bien adaptée aux zones humides et R577 se dispute l'occupation des Hauts de l'Ouest avec R583

Localisation des variétés en 2011

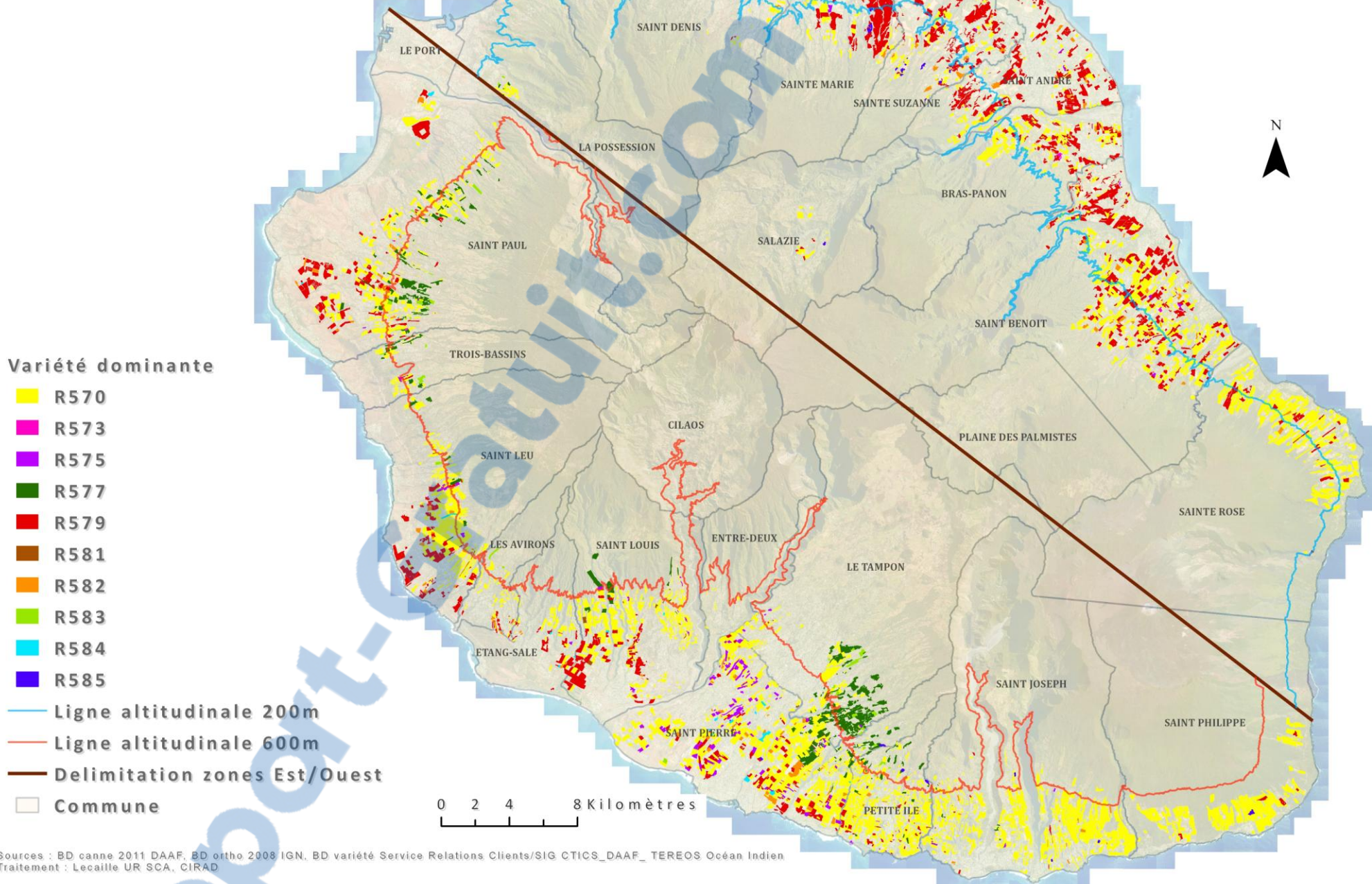


Figure 15. Localisation des variétés en 2011

- La base de données plantations renseigne les plantations effectuées par les planteurs sur les deux dernières campagnes de plantations : 2009/2010 et 2010/2011.

Elle est fiable puisque construite à partir des données de demande de subvention DAAF et/ou usine et est vérifiée sur le terrain par des techniciens. C'est une base de données qui n'existe que depuis 2009 et qui renseigne la variété plantée mais également la date de plantation, la date de contrôle, la possibilité de mécanisation de la parcelle, le type de subvention demandée.

Les planteurs suivent assez bien les recommandations d'eRcane et des Pôles canne en ce qui concerne les variétés et la zone où ils doivent les planter selon la localisation de leurs parcelles.

Les hectares plantés pour chaque variété sur deux campagnes de plantation 2009/2010 et 2010/2011 sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 4. Hectares de canne plantés campagnes 2009/2010 et 2010/2011

Variété	Hectares plantés en 2009/2010	Hectares plantés en 2010/2011	% des plantations de la variété sur la période 2009/2011
R570	464,2	325,2	27,1
R573	0,0	0,9	0,03
R575	15,2	8,4	0,8
R577	93,1	92,4	6,4
R579	346,7	528,2	30,0
R581	1,3	5,3	0,2
R582	316,9	355,0	23,0
R583	51,6	64,6	4,0
R584	13,5	67,8	2,8
R585	55,7	109,3	5,7

Nb : cette base de données est aussi incomplète car pour un total de 1638 d'hectares plantés en 2009/2010 et de 1694 hectares plantés en 2010/2011. On a respectivement 279,6 hectares en 2009/2010 et 137 ha en 2010/2011 non renseignés ou présentant deux ou trois variétés sur une même parcelle, donc qui n'apparaissent pas sur la carte.

On remarque que les variétés spécifiquement adaptées au Hauts de l'île sont en nette progression même si elles ne représentent qu'un faible pourcentage sur l'ensemble des parcelles plantées dû à leurs adaptabilités aux zones hautes (zones qui ne représentent que 26% de la sole cannière) (Tableau4).

On voit néanmoins que ces variétés sont en augmentation constante surtout R585 sortie officiellement en 2010 dont les plantations ont doublé en 2 ans passant de 55,7 ha à 109,3 ha l'année suivante. R583 suit une progression moins spectaculaire mais qui reste honorable si l'on tient compte de sa grande

spécificité à un milieu particulier et elle représente néanmoins 27% du total de cannes plantées sur les Hauts de l'Ouest de 2009 à 2011.

Si l'ont effectuée le même exercice sur les parcelles de canne plantées dans la zone des Hauts de l'Ouest, la R583 bien adaptée, mais très récente, arrive en bonne place parmi les variétés plantées lors des deux dernières campagnes. Elle est moins représentée que la R577 mais l'on peut l'expliquer par l'ancienneté de cette dernière (créée en 1987).

Cannes des Hauts de l'Ouest : 2009/2011:

variété	R570	R573	R575	R577	R579	R581	R582	R583	R584	R585	autre ou NA
Surface (ha)	84,0	0,5	2,7	144,7	6,1	2,6	8,2	97,3	4,3	1,5	13,3
pourcentage	23,0	0,1	0,7	39,6	1,7	0,7	2,2	26,7	1,2	0,4	3,6

2009/2010

variété	R570	R573	R575	R577	R579	R581	R582	R583	R584	R585	autre ou NA
Surface (ha)	34,6	0,0	2,1	77,5	2,9	0,4	4,3	45,4	3,0	0,7	11,0
pourcentage	19,0	0,0	1,2	42,6	1,6	0,2	2,3	25,0	1,6	0,4	6,1

2010/2011

variété	R570	R573	R575	R577	R579	R581	R582	R583	R584	R585	autre ou NA
Surface (ha)	49,5	0,5	0,6	67,1	3,2	2,2	3,9	51,9	1,3	0,9	2,2
pourcentage	27,0	0,3	0,3	36,6	1,8	1,2	2,1	28,3	0,7	0,5	1,2

Tableau 5. Surfaces et part de chaque variété dans les Hauts de l'Ouest

Cannes des Hauts de l'Est : 2009/2011:

variété	R570	R573	R575	R577	R579	R581	R582	R583	R584	R585	autre ou NA	cannes essai
Surface (ha)	77,9	0,0	1,1	0,2	171,1	0,0	137,1	0,0	0,2	71,9	36,5	3,9
pourcentage	15,6	0,0	0,2	0,04	34,2	0,0	27,4	0,0	0,04	14,4	7,3	0,8

2009/2010

variété	R570	R573	R575	R577	R579	R581	R582	R583	R584	R585	autre ou NA	cannes essai
Surface (ha)	32,6	0	1,1	0,0	39,0	0,0	56,0	0,0	0,0	10,8	34,7	3,9
pourcentage	18,3	0,0	0,6	0,0	21,9	0,0	31,4	0,0	0,0	6,1	19,5	2,2











2010/2011




variété	R570	R573	R575	R577	R579	R581	R582	R583	R584	R585	autre ou NA
Surface (ha)	45,3	0	0	0,2	132,1	0	81,1	0	0,2	61,1	1,8
pourcentage	14,1	0,0	0,0	0,1	41,0	0,0	25,2	0,0	0,1	19,0	0,6

Tableau 6. Surfaces et part de chaque variété dans les Hauts de l'Est

Plantations de cannes à sucre campagnes 2009/2010 et 2010/2011

Variété plantée

	2009_2010	2010_2011	% 2009_2011
 R 5 7 0	464,2 ha	325,2 ha	27,1 %
 R 5 7 3	0,0 ha	0,9 ha	0,03 %
 R 5 7 5	15,2 ha	8,4 ha	0,8 %
 R 5 7 7	93,1 ha	92,4 ha	6,4 %
 R 5 7 9	346,7 ha	528,2 ha	30,0 %
 R 5 8 1	1,3 ha	5,3 ha	0,2 %
 R 5 8 2	316,9 ha	355,0 ha	23,0 %
 R 5 8 3	51,6 ha	64,6 ha	4,0 %
 R 5 8 4	13,5 ha	67,8 ha	2,8 %
 R 5 8 5	55,7 ha	109,3 ha	5,7 %

-  Ligne altitudinale 200m
-  Ligne altitudinale 600m
-  Delimitation zones Est/Ouest
-  Commune

0 2 4 8 Kilomètres

Sources : BD ortho 2008 IGN, BD plantation Service Relations Clients/SIG CTICS_DAAF_TEREOS Océan Indien
 Traitement : Lecaille UR SCA, CIRAD

Figure 16. Localisation des plantations campagnes 2009/2010 et 2010/2011

III) Projection géographique

1. Contexte d'étude

Les grands processus du développement de la canne à sucre se caractérisent par le débourrement, qui permet la levée, puis, l'émission et la croissance des feuilles, accélérée par le tallage, qui permet d'arriver à un couvert installé, proche de son indice foliaire maximum, qui va rester stable sauf accident, donc proche de son interception maximale.

Pour comprendre l'origine de l'adaptation des nouvelles variétés aux conditions plus froides, un protocole expérimental a été bâti et principalement orienté vers les effets de la température sur le fonctionnement du couvert de canne, et en particulier des phénomènes de développement, regroupés sous le terme phénologie, qui signifie : "étude de l'apparition" (des organes).

Les travaux de recherche du CIRAD se focalisent sur la phase d'implantation de la culture, donc à la période où la température est souvent considérée comme le principal facteur limitant des processus en jeu.

Partant ainsi du principe que l'implantation est un passage obligé de la culture et que sa réalisation dans un temps bref doit être un atout pour la suite de la culture, les recherches devraient permettre de caractériser, entre autre, les performances de trois variétés à la levée, notamment la R583 sous différentes conditions de température.

Le modèle obtenu permet d'obtenir pour chaque variété, à partir d'un modèle moyen :

- La température seuil théorique de fonctionnement ;
- La Demi-levée Θ_{50} , c'est-à-dire le temps nécessaire en somme de degré-jour au dessus de la température seuil pour que la moitié des boutures (plantées) lèvent.

Ces indices nous permettront d'illustrer l'importance du type de résultat obtenus sur le terrain à l'aide d'outil de cartographie.

2. Choix de la zone d'étude et problématique

Une zone en particulier cumule à la fois des altitudes élevées, ainsi qu'une faible pluviométrie, sans bénéficier de l'irrigation : les Hauts de l'Ouest. Deux variétés historiques, sélectionnées dans des conditions différentes, y sont cultivées majoritairement, R583 et R577. Comme nous l'avons vu précédemment, en 2008, eRcane a libéré la variété R583, sélectionnée dans les Hauts de l'Ouest, et spécifiquement adaptée à cette zone. Elle y présente des performances remarquables par rapport aux variétés R570 et R577.

Les meilleures performances de la variété R583 dans les Hauts de l'Ouest s'expliquent-elles par une meilleure adaptation aux basses températures ? En particulier, cela se vérifie-t'il à la levée ?

Notre problématique s'articulera donc autour de deux axes de travail principaux:

- Le traitement des données météorologiques et détermination d'une méthode d'analyse des données sur SIG (choix d'une méthode d'interpolation).
- La production à partir des données de températures, de cartes représentant l'aptitude à la levée de R583 dans les Hauts en nombre de jours

3. Découpe de la zone d'étude

Un zonage a été réalisé pour répondre aux besoins spécifiques de cette étude avec une découpe altitudinale du territoire en tranches de 100m d'altitude à partir du Modèle Numérique de Terrain et une découpe en transects le long des ravines afin de les ôter et de créer une séparation entre les zones irriguées et celles ne bénéficiant pas de l'aménagement de basculement des eaux.

Nous avons arbitrairement restreint l'étude à la limite de 1300m d'altitude pour ce zonage, altitude trop élevée pour la canne à sucre (Figure 17)

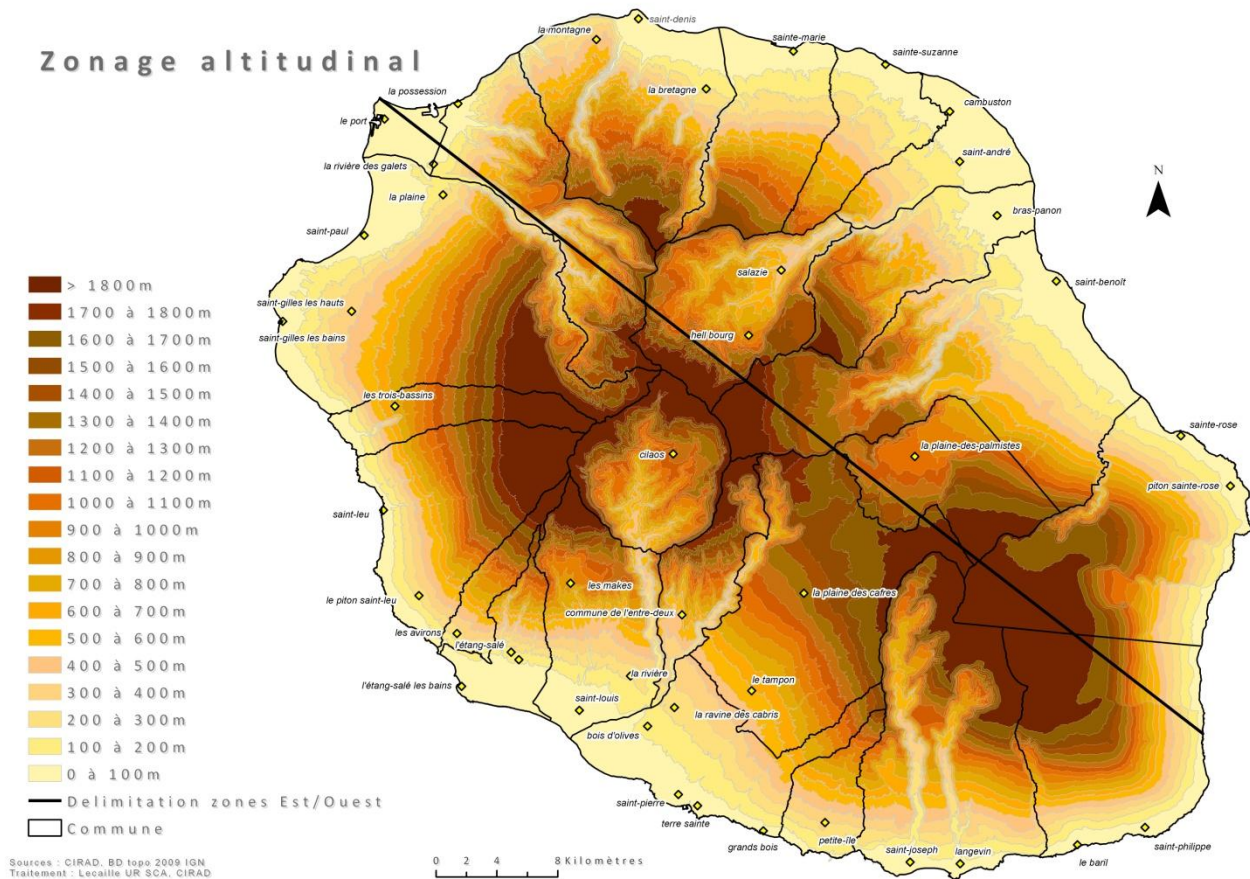


Figure 17 : découpe de l'île par tranches de 100m d'altitude

Une découpe selon des transects pour l'obtention de zones à ensuite été faites avec les avis et recommandations d'experts et techniciens de Meteo France et d'eRcane sur la qualité des données et du Cirad pour la validation de la démarche.

En procédant ainsi nous voulions faire correspondre ce zonage au maximum avec les réalités de terrain et météorologiques constatées et qu'ainsi chaque zone puisse être rapportée à une ou plusieurs stations météorologiques de référence.

Les limites ont été réalisées en utilisant des éléments topographiques naturels suivant : Rivière des Galets, Ravine des trois bassins, Rivière Saint Etienne, Ravine de petite île, Rivière des remparts, Rivière Langevin, Rempart du Tremblet, ainsi que la fin de la zone irriguée.

4. Station météo et données de température

4.1 Localisation des stations sur le territoire

Le réseau climatologique de La Réunion dispose actuellement de nombreuses stations automatiques et d'une vingtaine de postes climatologiques à mesure manuelle (Figure 18). Ces derniers sont entretenus par des bénévoles qui mesurent quotidiennement la hauteur des précipitations. Le seul poste bénévole, qui mesure en plus la température, est celui de Dos d'Ane. Les stations automatiques mesurent les précipitations au pas de temps horaire et infra-horaire (6min) certaines de ces stations mesurent également la température, le vent, le rayonnement global, l'humidité ou encore la pression (source : Météo France).

Il n'y a que peu de station qui dispose d'un nombre d'année de données de température conséquentes

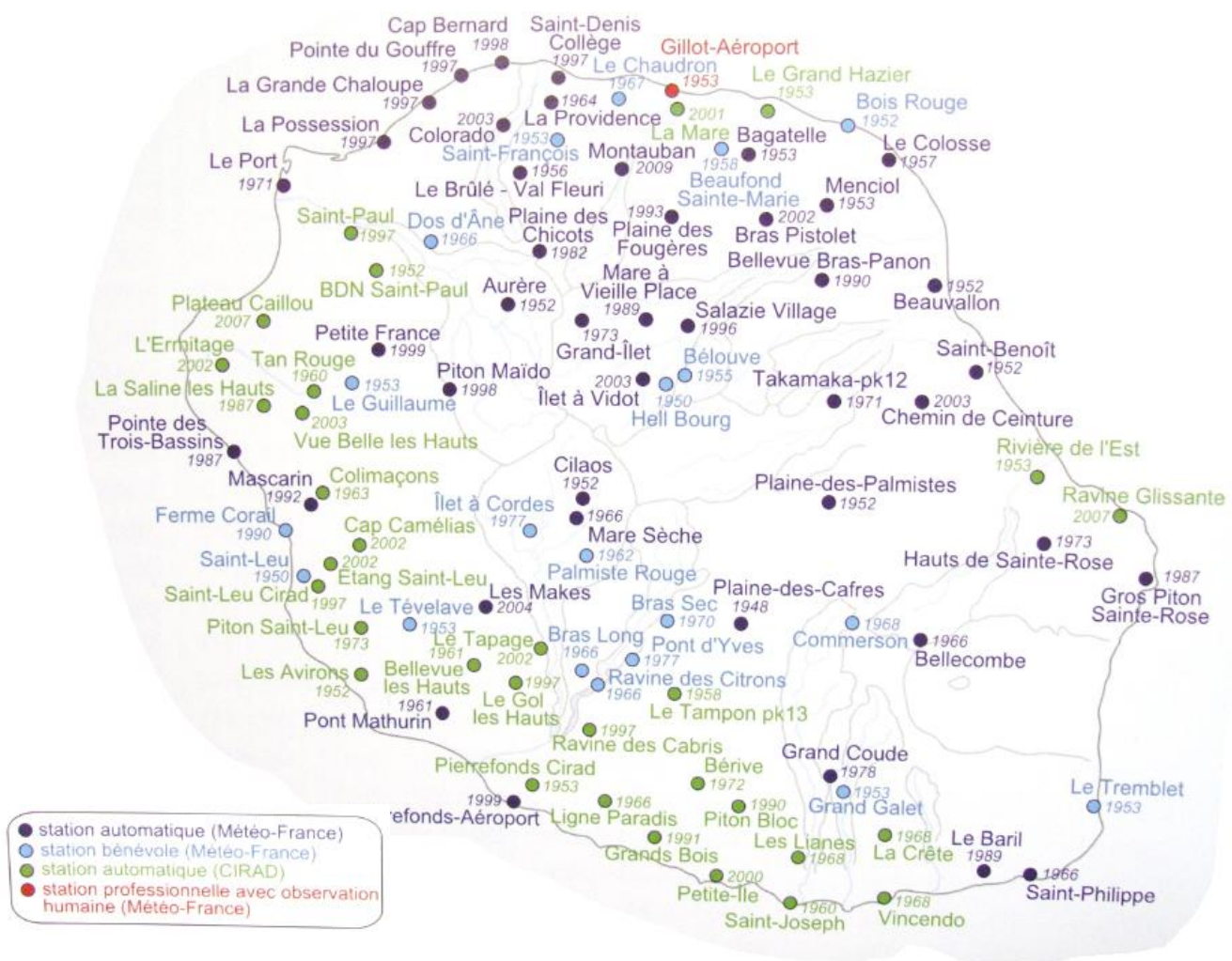


Figure 18. Réseau de station climatologique de l'île de La Réunion source : Météo France 2012

4.2 Choix de stations pour l'étude

On a choisi des stations météorologiques dans la base de donnée CIRAD (margouill@) en fonction de leur localisation, leur altitude, le nombre de données disponibles (minimum de 10 ans), et de façon à ce qu'il y ait une station par zone de découpe. On a écarté les stations dont la fiabilité est à revoir (soit parce que située en sous-bois ou sur un toit école en plein soleil etc.) ou fermée depuis trop longtemps selon les recommandations de Météo France.

Au final on a 7 stations de référence :

Tableau 7 : Station météorologiques utilisées pour l'étude.

ID poste	Nom station	Altitude	Date d'ouverture	Date de la dernière donnée	Nombre de jours disponibles	Nombre d'année
97416465	Ligne Paradis	150	01/02/1966	03/07/2012	16850	46
97415590	Pointe 3 Bassins	16	02/04/1988	04/07/2012	8717	24
97413545	Saint-Leu	221	15/06/1989	04/07/2012	8182	22
97404540	Pont Mathurin	22	08/11/1990	04/07/2012	6007	16
97417360	Le Baril	130	01/01/1997	06/05/2012	5092	14
97412384	SAINT-JOSEPH	71	11/07/1997	04/07/2012	5088	14
97405480	Petite-Île	168	17/03/2000	04/07/2012	4410	12

NB : date d'ouverture pour les données de température, les données pluviométriques peuvent être plus anciennes

Je tiens à souligner un problème de fiabilité dans la localisation des stations météorologiques de l'île, le CIRAD et Météofrance possédant des coordonnées et altitudes différentes pour une même station il a été difficile de connaître la position exacte des stations à disposition. Il conviendrait de fixer, une fois pour toute, ces données en allant effectuer des vérifications sur le terrain.

5. Zonage final

L'espace est ainsi découpé en 7 zones, chacune découpée en tranche de 100m d'altitude soit 91 polygones couvrant la zone Ouest de l'île :

Zonage et stations météorologiques de référence Côte sous le vent

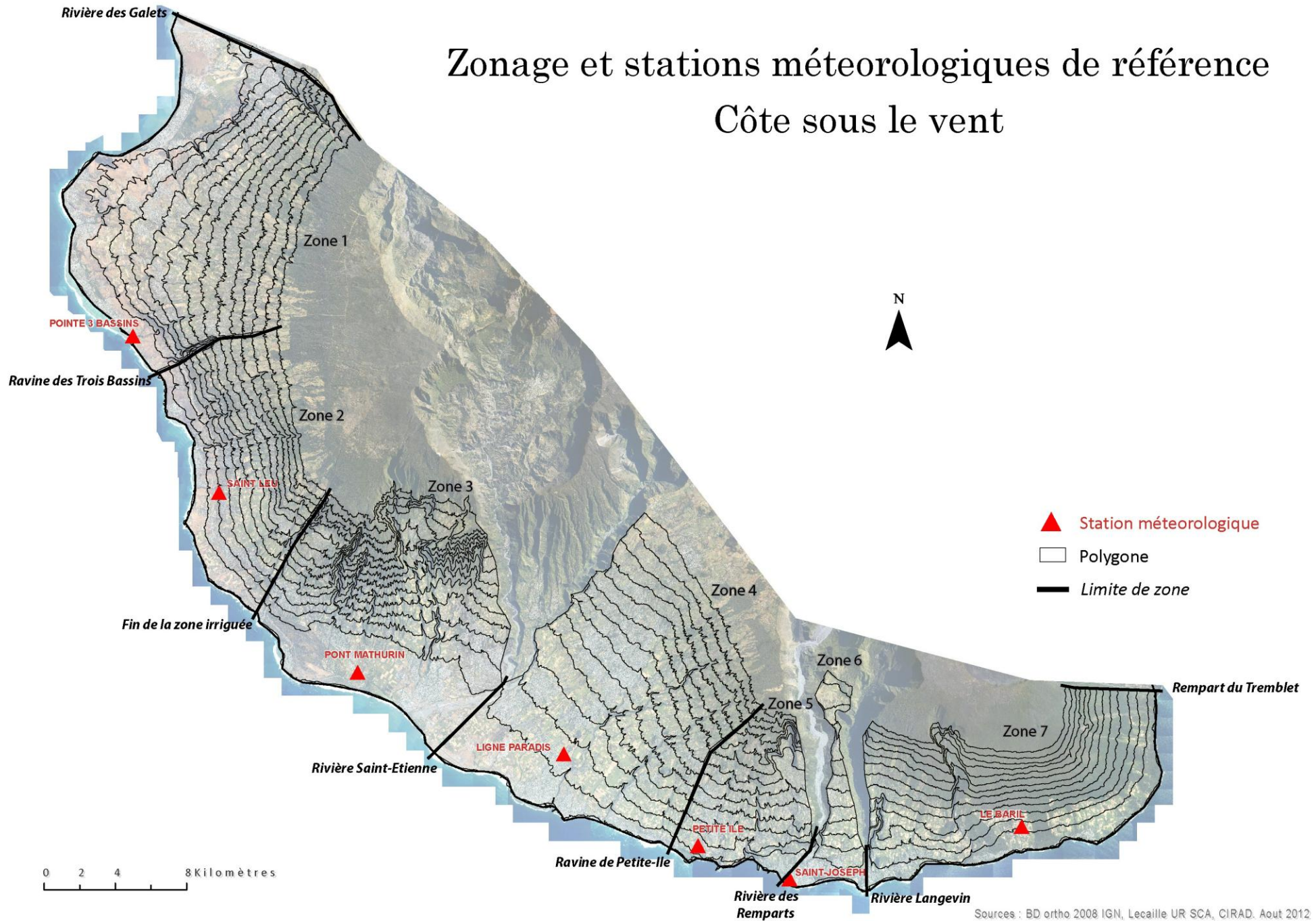


Figure 19. Zonage, limites de zones et stations météorologiques

6. Méthode de calcul et indices utilisés

On cherche à obtenir pour une date de plantation des cartes de nombre de jours (X) nécessaires pour atteindre une somme de degrés jour au dessus d'une température seuil ce qui correspondra à la représentation, « à dire d'expert » du stade de débourrement levée.

On a donc trois indices phénologiques, pouvant être définis comme suit :

La somme degrés jours correspondant au cumul de degrés journalier (moyenne du jour : $(T^{\circ}\text{min}+T^{\circ}\text{max}) / 2$) au dessus de la température seuil en une période donnée (Xjours) afin d'atteindre le demi-stade de débourrement levée.

La température seuil correspondant à la température minimale nécessaire au développement et à la croissance d'un végétal pour ce processus

Le nombre de jours X correspondant à la période maximum durant laquelle une somme de degrés jours au dessus de la température seuil doit être atteinte.

Dans le cadre de cette étude, à partir de modèles statistiques, une température seuil et une somme degrés jours propres à chaque variété de canne pour atteindre un taux de levée donné (demi-levée : 50%) ont été définis. Les résultats de ses travaux sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Les résultats du modèle (tableau 8) nous montrent que R583 possède des caractéristiques physiologiques qui lui permettent d'être plus performante à la levée que R570 et R577 mais pour des raisons différentes :

Tableau 8 températures seuils et paramètres du modèle à 3 températures et durée (en somme de degrés-jour au dessus du seuil) de la demi-levée et l'étalement de la levée (50% de la population levée) Source : C.POSER

Variété	Température seuil (se)	M (se)	k (10^{-3}) (se 10^{-3})	C (se)	Z (se)	Somme degrés jours(se) Θ_{50}	Θ_{25-75} (se)	Rmsest +/- se
R 570	13,03 (0,35)	0,91 (0,01)	9,56 (0,54)	5,55 (0,72)	0	97,9 (0,3)	27,35 (0,06)	5,3 (1,4)
R 583	10,89 (0,32)	0,91 (0,01)	9,23 (0,30)	5,83 (0,40)	0	101,7 (0,1)	27,10 (0,06)	5,5 (1,4)
R 577	11,23 (0,36)	0,95 (0,01)	12,33 (0,95)	2,11 (0,56)	55,1 (8,9)	123,2 (0,2)	49,65 (0,06)	4,0 (0,9)

R583 et R570 ont un besoin en degrés jour équivalent pour atteindre la demi-levée mais R583 à une température seuil de fonctionnement significativement plus faible.

Inversement, R583 et R577 ont des températures seuil de fonctionnement semblables mais R577 à un besoin en degrés jour plus fort pour atteindre la demi-levée.

Dans les deux cas cela signifie que R583 arrivera plus vite au stade de demi-levée.

Pour illustrer l'importance de ces paramètres nous avons choisi de simuler sur le terrain la durée nécessaire pour atteindre la demi-levée pour deux profils type de variétés ayant une somme de degrés jours identique : 100° C, mais des températures seuil de fonctionnement différentes : 11°C et 13 °C

Nous effectuerons cette simulation pour une date de plantation fixée au 15 octobre juste avant la saison chaude.

Le choix du mois d'octobre pour la date de plantation s'explique par le fait que l'on cherche à anticiper la récolte dès la campagne suivante à l'issue d'un minimum de 12 à 14 mois de culture (Figure 20).

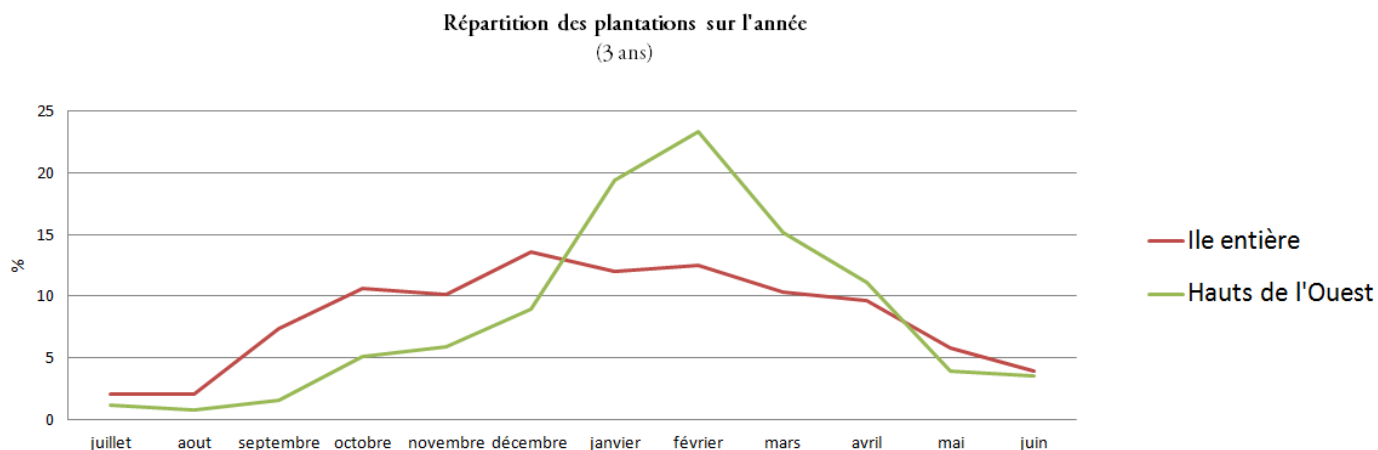


Figure 20. Nombre d'hectares planté et mois de plantation, campagnes 2009/2010 2010/2011 et 2011/2012

Ce graphique met en évidence le décalage entre les périodes de plantation dans les Hauts de l'Ouest, et le reste de l'île.

En effet la plantation débute dès septembre pour l'île entière et croît de façon homogène jusqu'en mars où elle commence à décliner. A l'inverse la période de plantation dans les Hauts de l'Ouest est beaucoup plus « brutale » elle ne commence réellement qu'au mois de novembre pour augmenter très rapidement jusqu'en février et rechuter très fortement en avril.

On peut supposer que cela s'explique par des différences de climat et les variétés et habitudes qui limitent une plantation trop tôt dans l'année pour les Hauts.

6.1 Méthode d'affectation d'une station à un polygone :

Chaque polygone est associé à la station située dans la même zone.

La requête s'effectue donc comme suit :

(1). Recherche d'une station à l'intérieur du polygone étudié

(2). Si aucune station à l'intérieure du polygone n'est disponible, choix du polygone voisin de la même zone. Puis reprise de la méthode au (1). Itération jusqu'à trouver une station valide dans la même zone.

(3). Vérification sur la station de la disponibilité des données.

(4). Une fois une station sélectionnée, interpolation avec les gradients de températures.

Comme la station dont les données sont utilisées ne se trouve pas à la même altitude que les polygones étudiés, on procède à une correction des températures min et max utilisées pour obtention d'une température moyenne : $(T^{\circ}\text{min}+T^{\circ}\text{max})/2$

L'équation suivante servira à corriger les valeurs en procédant à un ajustement suivant un polynôme du 3^{ème} degré, avec en ordonnée le gradient G (en °C par mètre) et en abscisse le numéro de mois (Annexe 1, *Chopart 2002.*)

Pour la température maxi :

$$G = 5 \times 10^{-4} \text{ num}^3 - 1.13 \times 10^{-2} \text{ num}^2 + 6.66 \times 10^{-2} \text{ num} - 0.82$$

$$R^2 = 0.81 \quad N = 12$$

Pour la température mini :

$$G = 5 \times 10^{-4} \text{ num}^3 - 8.9 \times 10^{-3} \text{ num}^2 + 3.43 \times 10^{-2} \text{ num} - 0.77$$

$$R^2 = 0.85 \quad N = 12$$

Avec G : gradient

Et num : numéro de mois

6.2 Traitement des données météorologiques :

Les références de température sont prises sur 10 ans dans la base de données Cirad-Météo-France via Margouill@ ©. On cherche à obtenir des valeurs références du nombre de jours correspondant à la « quinquennale fraiche » (QF), définie comme suit :

QF peut être qualifiée d' « année froide » de référence avec pour chaque jour de plantation potentielle une valeur de nombre de jour pour laquelle 80% des données (4 cas sur 5) nombre de jour obtenues sur l'ensemble des années de données disponibles lui sont supérieurs.

On applique donc à l'ensemble des résultats de nombre de jours X obtenus pour chaque polygone un centile de 0.2

$$\text{Centile} = (1 - (p * (n - 1) - \text{Fix} * (n - 1))) * X2(1 + \text{Fix} * (n - 1)) + (p * (n - 1) - \text{Fix} * (n - 1)) * X2(2 + \text{Fix} * (n - 1))$$

Avec :

Fix : Fonction renvoyant la partie entière d'un réel

X2 : tableau de valeur dont l'indice de départ est 1 triée du plus petit au plus grand.

p : est la probabilité

n : indice max du tableau

On traite les données de températures par requête SQL directement dans la base de données Margouill@ disponible.

On a donc 2 variables à entrer pour interrogation de la base de données de température:

- Un nombre de degrés jour cumulé à atteindre.
- Une Température seuil

On obtient une référence de données « annuelles » avec pour chaque jour de plantation potentielle, un nombre de jour nécessaires pour l'obtention d'une somme de degrés jour au dessus d'une température seuil, variable précédemment renseignées.

Dans notre étude sur la côte sous le vent et au vu des variétés que nous voulons étudier, nous avons donc 2 séries de données :

- La première avec une température seuil de 11°C et une somme degrés jour de 100°C
- La deuxième avec une température seuil de 13°C et une somme degrés jour de 100°C

7. Résultats :

Les cartes mettent en évidence un gradient altimétrique : alors qu'il ne faut que 9 à 11 jours dans les Bas pour atteindre la demi-levée, 15 à 20 jours sont nécessaires à une altitude de 600 à 900 m pour une température seuil de 13°C. Pour une température seuil de 11°C, il faut également 8 à 11 jours dans les Bas mais seulement 11 à 15 jours entre 600 et 900 m.

Les simulations obtenues illustrent les différences existantes entre les deux profils type de variétés : Température seuil 11 pourra être plantée à une altitude plus élevée à cette date, ainsi pour température seuil de 13 au delà de 600 m on passe au delà de 15 jours, ce qui compromet la réussite de la plantation.

La température seuil de fonctionnement a une influence conséquente sur la durée nécessaire au débourrement-levée d'une variété.

Or, pour un planteur il est important de pouvoir bénéficier de variétés mieux adaptées au climat des Hauts et notamment plus résistantes aux températures fraîches : planter dès le mois d'octobre une variété vigoureuse qui assure un rendement potentiel conséquent permettrait de bénéficier d'une première récolte de 12 mois à 14 mois entraînant un avantage économique indéniable

La température seuil peut conditionner l'adaptation à un environnement où les conditions thermiques constituent un handicap au développement. Les cartes obtenues à l'aide du traitement réalisé montrent qu'un type de variété à la température seuil de fonctionnement inférieur de 2 degrés (11°C et 13°C) étendrait ses limites de plantation d'environ 300 m.

Certes, cette première phase d'implantation de la culture ne peut à elle seule refléter la capacité d'un génotype à s'adapter à un environnement contraint, mais représente un atout pour l'avenir de son développement.

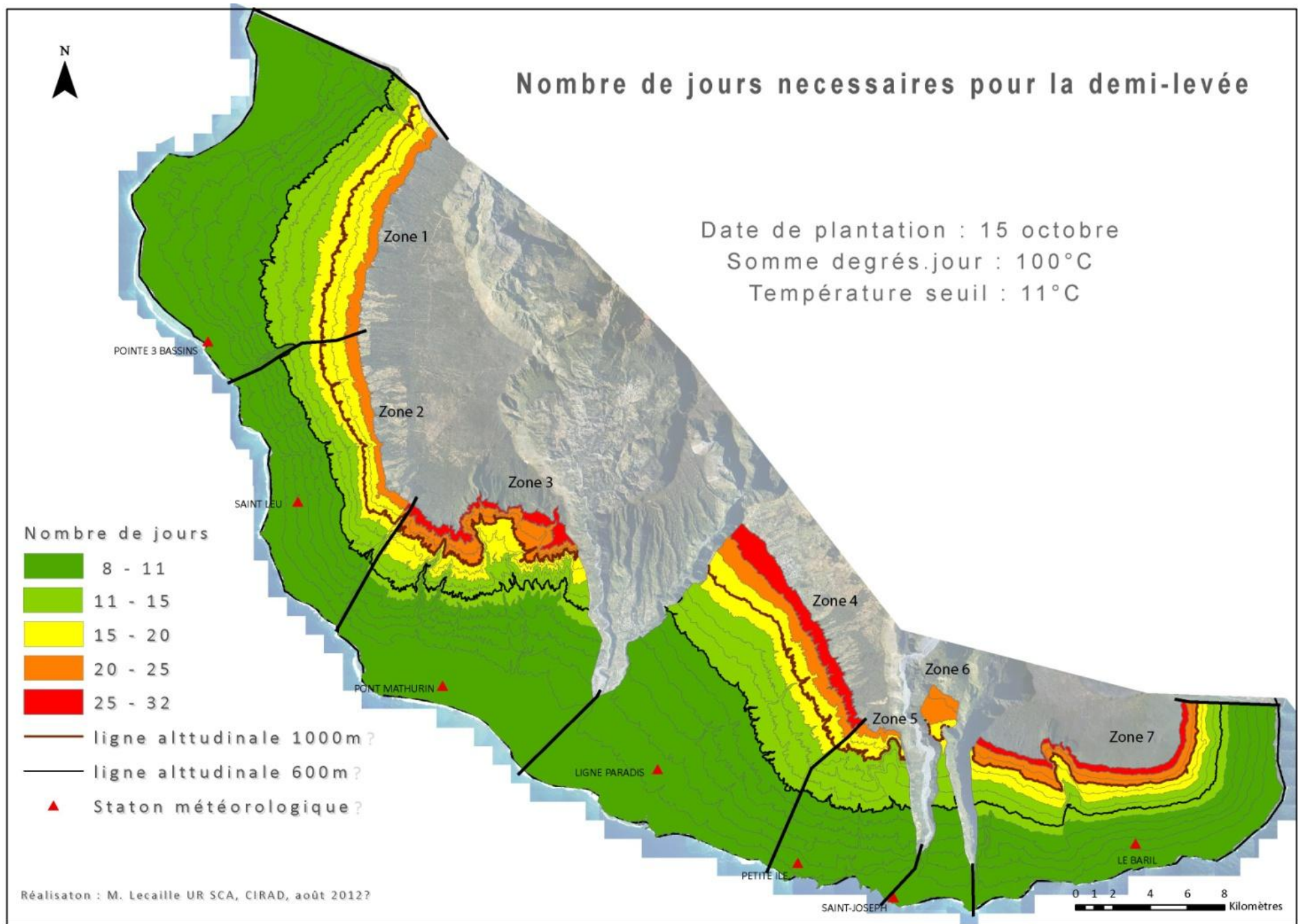


Figure 21. Nombre de jours nécessaires pour la demi-levée au 15 octobre avec température seuil 11

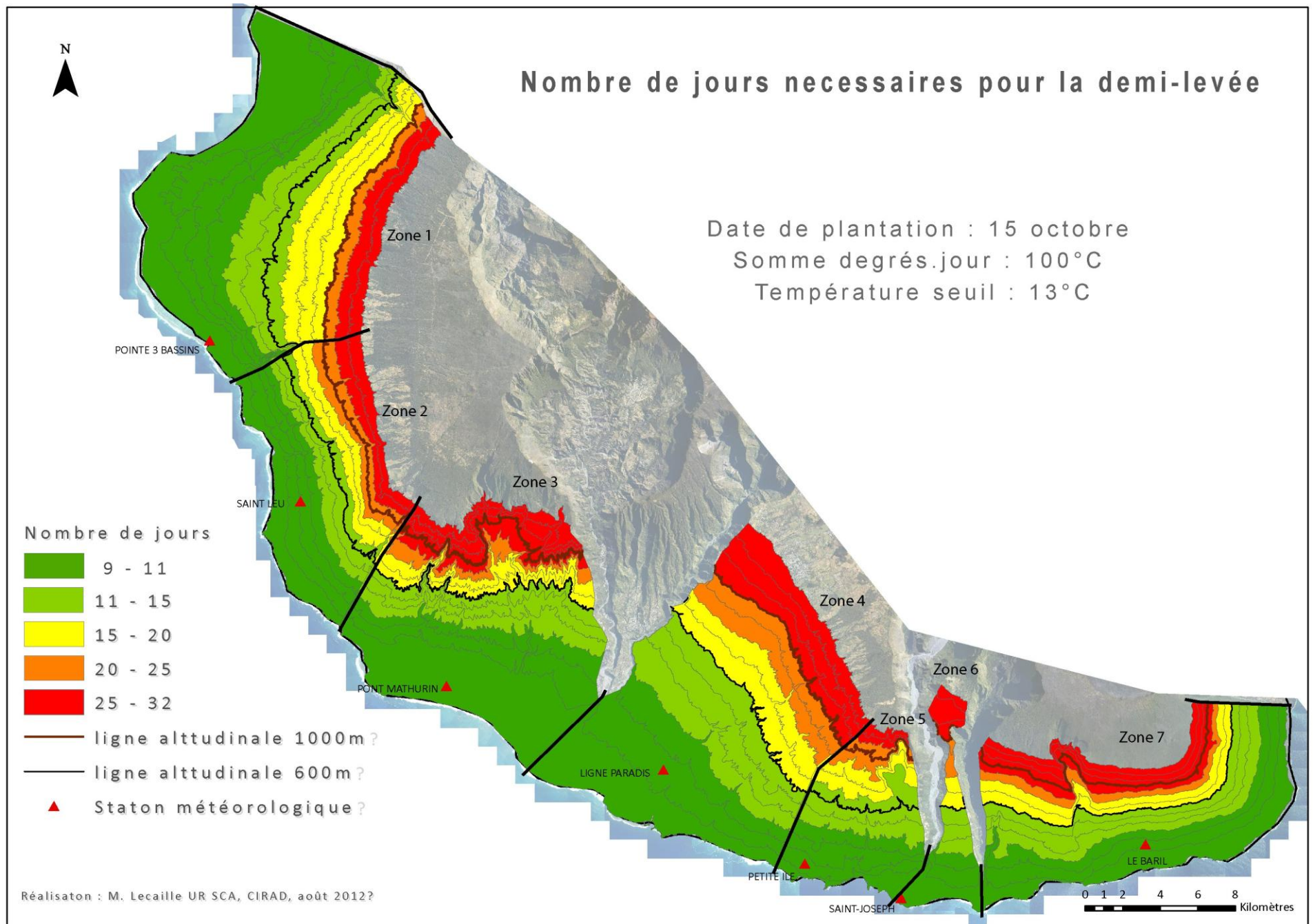


Figure 22. Nombre de jours nécessaires pour la demi-levée au 15 octobre avec température seuil 13

Conclusion

La culture de la canne à sucre est un véritable enjeu économique, social et environnemental sur l'île de La Réunion. Cette culture se distingue par une adaptation à une grande diversité de conditions pédo-climatiques. Ainsi, les zones de culture de la canne présentent des conditions d'altitudes allant de zéro à près de 1000 mètres, et des pluviométries annuelles de 600 à plus de 4000 mm.

Les terres de plantations situées sur la zone littorale subissent une forte pression foncière due à la démographie croissante. De nouvelles variétés sélectionnées pour leur résistance à un climat plus difficile, notamment des températures plus faibles, permettrait de compenser en partie la perte de terre en plantant la canne et en produisant de façon rentable dans les Hauts de l'île.

Ces plantations dans les « Hauts » sont déjà effectives puisqu'elles représentent 26% de la sole cannière en 2011, et les nouvelles bases de données permettent désormais de connaître les zones de plantation d'une variété et la surface associée de façon précise.

L'étude s'est concentrée sur une zone en particulier, qui cumule à la fois des altitudes élevées, ainsi qu'une faible pluviométrie, sans bénéficier de l'irrigation : les Hauts de l'Ouest.

Deux variétés historiques, sélectionnées dans des conditions différentes, y sont cultivées majoritairement, R577 et, depuis 2008, R583, ces deux variétés sont relativement adaptées à cette zone. Cependant les cartes de plantations nous montrent que pour les deux dernières années, R570 pas spécifiquement créée pour les Hauts représente un peu plus de 20% des nouvelles plantations.

Le but de l'exercice effectué était de montrer l'adaptation réelle des variétés spécifiquement créées pour les Hauts par rapport à d'autre comme la R570, en traduisant leur caractéristiques agronomiques en terme de potentiel sous forme de cartes et donc en « limites » de plantation.

En utilisant les températures seuil de fonctionnement de ses variétés et en se basant sur l'hypothèse d'une température seuil de fonctionnement plus basse pour R583, une simulation des durées de débourrement-levée est réalisée à partir de données climatiques des 10 dernières années et traduit géographiquement à l'aide de l'outil SIG sur la côte Ouest de La Réunion.

Les cartes obtenues sont très satisfaisantes car elles reflètent les différences d'adaptation entre les variétés. Ici l'outil de cartographie, associé à l'utilisation des données météorologiques disponibles s'est avéré précieux dans la valorisation de résultats agronomiques obtenus en tests contrôlés.

Ainsi on observe qu'un écart de 2 degrés sur le seuil montre l'importance relative de ce paramètre sur la date de levée, ce qui laisse supposer une faculté de la plante à s'implanter plus rapidement et sur une surface plus étendue (limites de plantation agrandie d'environ 300 m, jusqu'à 900m d'altitude).

Il convient de replacer à son juste niveau ce processus qui n'est qu'un élément des complexes processus qui s'enchainent au cours de l'élaboration de la biomasse puis de la conversion en sucre. Cependant, même si la bonne implantation d'une variété ne présage pas de sa faculté à atteindre une meilleure production en biomasse et en sucre, elle représente un atout indéniable notamment vis-à-vis de la flore adventice en compétition.

Pour compléter l'étude, on pourrait, par exemple, faire varier non plus la température seuil mais la somme degrés.jours nécessaire ou des dates de plantations différentes.

De plus, la démarche est généralisable aux autres données climatiques de la zone : la pluviométrie et l'ensoleillement pour lesquelles nous disposons également de données météorologiques dans la base margouill@ afin de les croiser entre elles et d'obtenir un résultat plus complet.

Le zonage créé pour l'île dans sa totalité peut être réutilisé dans le cadre d'une étude semblable sur la partie Est par exemple mais aussi comme base de découpage du territoire pour l'étude du climat de l'île.

Bibliographie

Agreste, la statistique, l'évaluation et la prospective agricole. Le recensement agricole 2010. Données en ligne

BEGUIN M. et PUMAIN D. (1995) – La représentation des données géographiques : statistiques et cartographie.

Bonhomme R. 2000. Bases and limits to using 'degree.day' units- a review- European Journal of Agronomy, 13,1, 1-10.

Caro canne. Décembre 2010. De R570 à R585 Neuf variétés à planter. St Denis - La Réunion, Canne Progrès.

Centre Technique Interprofessionnel de la Canne et du Sucre de La Réunion. rapport de campagne sucrière 2010.

Childs Colin, ESRI Education Services. Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst

CHOPART Jean Louis, MEZINO Mickaël, LE MEZO Lionel. Relation entre l'altitude et la température mensuelle de l'air dans l'Ouest de La Réunion 2002. Revue agricole et sucrière de l'île Maurice, 80 (3 - (2002)vol.8) : 68-72. Congrès de la Société de technologie agricole et sucrière de Maurice. 10, 2002-09-27/2002-10-01, Réduit, Maurice.

Claudia Dittrich. Juin 2004. Développement d'une méthode d'interpolation curviligne dans le système d'information géographique « ArcGIS » pour l'analyse spatiale

Clements HF. 1980. Sugarcane Crop logging and crop control - principles and practices -, London: Pitman Publishing Limited..

DAAF 974. 2006. Convention canne 2006-2015. Convention tripartite Industriels - Planteurs – Etat

Fauconnier R. 1984. La canne à sucre, Montpellier: Cirad- Irat.

Fauconnier. 1991. La canne à sucre. Paris maisonneuve & Larose. 165p

Fauconnier R, Bassereau D. 1970. La Canne à sucre, Paris: Editions Maisonneuve et Larose.

Gascho GJ, Ruelke OC, West SH. 1973. Residual Effects of Germination Temperature in Sugarcane. CROP SCIENCE 13: 274-276.

Larsen SU, Bibby BM. 2005. Differences in Thermal Time Requirement for Germination of Three Turfgrass Species. Crop Sci. 45: 2030-2037.

Laurent DRAPEAU.Centre I.RD Montpellier, Laboratoire HEA Statistiques et Interpolations dans les SIG

Les industriels du sucre. 2005. Présentation La Réunion, île à sucre.

Magazine « Grain de Sucre » N°12, mars 2007 édité par le Centre d'Etude et d'Information du Sucre (CEDUS)

Martignac C. 2006. Maintien d'une filière dominante ou projet de territoire : le cas du sucre à La Réunion. Thèse de doctorat, Montpellier.

Météo-France (2011). Atlas climatique de La Réunion. Météo- France éditeur, 131 pages

Perret S. 1992. Etude des propriétés physiques, hydriques et mécaniques de sols andiques de La Réunion. Facteurs naturels et anthropiques d'évolution des horizons culturaux, implications agronomiques et écologiques. PhD these, , Montpellier.

Pouzet D. 2011. Production durable de biomasse. La lignocellulose des poacées

Rachida Houssa. Intégration de modèles géostatistiques dans un SIG pour l'élaboration d'une carte de bathymétrie

Rainelli P. 2007. L'avenir des biocarburants et incidences sur l'équilibre des marchés agricoles. In: © Notre Europe ed.

REAGIR, avril 2008. Echanges sur un thème de recherche : travaux sur la canne des Hauts.

Robert Domaingue - Programme canne à sucre – Cirad. Présentation Pratiques de sélection chez une plante complexe à multiplication végétative

Stéphanie ROGUET. 2010. Etude du facteur température dans l'adaptation de variétés de Canne à sucre dans les « Hauts » de La Réunion.95 pages

Vivet J.B., 2007 Pérennisation d'une filière menacée à La Réunion : le cas de la culture cannière irriguée des Hauts de l'Ouest.79 p. Mémoire de fin d'étude Istom.

Yin X, Kropff MJ, McLaren G, Visperas RM. 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. Agricultural and Forest Meteorology **77**: 1-16.

Sites internet :

<http://www.canne-progres.com> site de la revue spécialisée filière canne : CaroCanne

<http://www.academie-agriculture.fr> site de l'académie de l'agriculture de France.

<http://www.insee.fr/fr/> site de l'Institut national de la statistique et des études économiques.

<http://www.odeadom.fr/> site de l'office de développement de l'économie agricole de l'Outre Mer.

http://www.meteo.fr/temps/domtom/La_Reunion/meteoreunion2/ site de Météo France Île de La Réunion.

<http://daaf974.agriculture.gouv.fr> site de la Direction de l'Alimentation de l'Agriculture et de la Forêt de La Réunion

<http://www.ercane.re/> site de eRcane. Bilan de fin de campagne sucrière disponible en ligne.

Table des illustrations

Figures :

Figure 1. Répartition géographique des cultures et principaux pays producteurs. Sources F.O. Light	5
Figure 2. Evolution de la production sucrière mondiale	5
Figure 3. Demande de sucre dans le monde estimation (en millier de tonnes de sucre brut)	6
Figure 4. Le cycle de transformation de la canne. Source : Téreos Ocean Indien.....	7
Figure 5. Localisation des cultures de cannes sur l'île de La Réunion	8
Figure 6. Evolution de la récolte de canne et production de sucre sur l'île de La Réunion. (Sources : DAAF réunion et Office de Développement de l'Economie Agricole D'Outre-Mer)	9
Figure 7. Répartition des centres de collectes et tonnages respectifs. (source : caro canne)	9
Figure 8. Acteur de la filière canne à La Réunion	10
Figure 9. Evolution des espaces agricoles entre 1989 à 2002. Source : Martignac 2006.....	11
Figure 10. Limites des Hauts de La Réunion et culture de cannes	13
Figure 11. La côte sous le vent et la côte au vent. Source : Wikipédia.....	14
Figure 12. Répartition des précipitations et températures annuelles. Source Météofrance	14
Figure 13. Moyenne des températures décennales minimum sur 10 ans pour les stations météorologiques des Colimaçons (800 m) et La Mare (10 m).	15
Figure 14. Variété et zone de plantation. Source : Le catalogue eRcane, cahier technique Carocanne n°22 décembre 2010)	17
Figure 15. Localisation des variétés en 2011.....	19
Figure 16. Localisation des plantations campagnes 2009/2010 et 2010/2011	22
Figure 17. Découpe de l'île par tranches de 100m d'altitude	25
Figure 18. Réseau de station climatologique de l'île de La Réunion source : Météo France 2012.....	26
Figure 19. Zonage, limites de zones et stations météorologiques	28
Figure 20. Hectares plantés mois de plantation, campagnes 2009/2010 2010/2011 et 2011/2012	30
Figure 21. Nombre de jours nécessaires pour la demi-levée au 15 octobre avec température seuil 11	34
Figure 22. Nombre de jours nécessaires pour la demi-levée au 15 octobre avec température seuil 13	35

Tableaux:

Tableau 1. Récapitulatif 2011 des rendements par classe de rendement (source : CTICS – Mars 2012)	8
Tableau 2. Evolution de la population, densité et nombre de logement de 1967 à 2009. Source : INSEE.....	11
Tableau 3. Variétés et zone de plantation. Source : Le catalogue eRcane, cahier technique Carocanne n°22 décembre 2010)	16
Tableau 4. Hectares de canne plantés campagnes 2009/2010 et 2010/2011.....	20
Tableau 5. Surfaces et part de chaque variété dans les Hauts de l'Ouest.....	21
Tableau 6. Surfaces et part de chaque variété dans les Hauts de l'Est.....	21
Tableau 7. Station météorologiques utilisées pour l'étude.	27
Tableau 8. Températures seuils et paramètres du modèle à 3 températures et durée (en somme de degrés-jour au dessus du seuil) de la demi-levée et l'étalement de la levée (50% de la population levée)	29

Annexe 1 : Relations entre l'altitude et la température mensuelle de l'air dans l'ouest de La Réunion.

RELATIONS ENTRE L'ALTITUDE ET LA TEMPERATURE MENSUELLE DE L'AIR DANS L'OUEST DE LA REUNION.

CHOPART Jean Louis, MEZINO Mickaël., LE MEZO Lionel.

Cirad Ca, 7 chemin de l'Irat, 97410 Saint Pierre, Réunion, France. Tel : 02 62 49 92 62, fax : 02 62 49 92 95, Email : chopart@cirad.fr

Résumé :

Du fait du relief accentué de la Réunion, il y existe une forte variabilité thermique sur de faibles distances. Or, la température est un facteur important de la croissance des espèces, en particulier de la canne à sucre. Des relations entre la température (maxi., mini., moyenne journalière) de chaque mois et l'altitude dans l'ouest de l'île, de 0 à 1200 m., ont été quantifiées, à partir d'une base de données incluant 17 postes météo. Pour chaque mois, et dans le domaine d'étude, il existe une relation linéaire entre l'altitude et la température moyenne ($R^2 > 0.93$). Le gradient thermique en fonction de l'altitude fluctue au cours de l'année, entre - 0.7 et - 0.8°C/100 mètres, suivant un polynôme du 3^{ème} degré. Il n'est pas directement lié à la température au niveau de la mer. Cette analyse permet d'affiner l'estimation des températures locales et de confirmer l'effet important de l'altitude à la Réunion. Les gradients obtenus sont légèrement supérieurs à ceux proposés dans la littérature (- 0.65°C/100m) et précédemment utilisés à la Réunion. Les résultats permettent d'interpoler plus facilement les données climatiques et de modéliser la croissance des cultures en fonction de la température, notamment en altitude, aux frontières des zones de culture. Il serait intéressant de comparer ces valeurs de températures et de gradients avec ceux de l'île Maurice ou d'autres milieux insulaires à relief marqué.

Summary

Réunion Island being hilly, there is a high thermal variability. Now temperature is an important factor of crop growth, specially for sugarcane. In west part of the Island, relationships between temperature (min., max, daily average) of each month and altitude (from 0 to 1200 meters) are studied. For each month, there is a linear relationship between altitude and temperature. Thermal gradients swing during the year (-0.7 to - 0.8/100meters). They aren't directly linked with sea level temperature. Gradients are a little bit greater than those quoted (-0.65 °C/100m.) and used locally. Results give a better knowledge of local temperature and confirm the great effect of altitude at Réunion Island. It is now easier to estimate local temperature and then to use crop models. It should be attractive to compare data from Reunion and Mauritius Islands, or other hilly islands.

Mots clés : Climat, Modélisation, Gradient thermique, Croissance des cultures, Agrométéorologie.

Introduction Approche du problème

Du fait du relief accentué de l'île de la Réunion, il existe une forte variabilité climatique (thermique et pluviométrique) sur de faibles distances. Au niveau de la mer, le climat est tropical et il est tempéré dans les zones de montagne. La température y est un facteur important de différenciation à courte distance des écosystèmes végétaux et animaux. C'est aussi un facteur favorisant ou limitant la croissance de la végétation naturelle et cultivée. L'aire de culture de la canne à sucre, principale richesse agricole de l'île est essentiellement limitée en altitude par la température. La température de base de la canne à sucre, en dessous de laquelle tout métabolisme s'arrête, est d'environ 10 °C, mais la température minimum pour permettre une croissance active est d'environ 20 °C (FAO, 1980).

Dans ce contexte, il a semblé intéressant de rechercher des relations simples entre l'altitude et la température de l'air. La diminution de la température de l'air avec l'altitude est un phénomène physique bien connu. Il existe un gradient statique de température et un gradient dynamique, dit gradient adiabatique. Dans un air parfaitement sec ce gradient adiabatique est de 1°C par 100 mètres de dénivelée, d'environ 0.5 °C/100 m. dans un air saturé et d'environ 0.65 °C/100 m pour un gradient normal moyen (Etienne et Godard, 1979). En considérant les moyennes annuelles, Baldy et Stigter (1997) proposent une réduction de température d'environ 0.6 °C par 100 m. Toutefois, cette valeur s'applique à un gradient libre vertical et pour une température moyenne. Elle est en fait très variable notablement et les réductions des températures minimales et maximales sont souvent différentes (Baldy et Stigter, 1993). D'après Météo-France (1997), le long des pentes de l'île de la Réunion, le gradient thermique est un peu plus marqué, de -0.7 à -0.8 °C pour 100 mètres en moyenne annuelle. Une autre étude (Bargeas, 1984) analyse les relations en séparant les semestres d'été (décembre à avril) et d'hiver (mai à novembre). D'après cette étude, le gradient est de 0.66 °C en été et de 0.67 °C en hiver, ce qui est légèrement inférieur aux valeurs proposées par Météo-France, mais ces résultats plus anciens portaient sur un échantillonnage plus réduit.

Actuellement, on dispose d'un volume de données permettant une approche du problème à l'échelle mensuelle et régionale (partie ouest de l'île). Il est donc possible de revisiter et d'affiner les résultats précédents en s'intéressant plus précisément à la zone de culture irriguée ou en cours d'aménagement pour l'irrigation. Dans cette zone, une connaissance aussi précise que possible du climat est nécessaire. Il s'agit, en particulier, d'études pour l'aménagement du territoire, la prévision des rendements et, en irrigation, pour permettre à l'agriculteur d'apporter des doses aussi ajustées que possible aux besoins de la culture.

Méthode d'étude

L'île étant d'une superficie très faible, on peut considérer que les variations de rayonnement extra terrestre, liées aux variations de latitude, y sont négligeables. C'est pourquoi, il semble possible d'y rechercher de simples relations entre la température de l'air et l'altitude, sans tenir compte de la latitude. En revanche, au moins en première approximation, il a été jugé plus prudent de se limiter à l'étude de la partie Ouest, sous le vent, qui a des caractéristiques climatiques, et en particulier pluviométriques, très différentes de la côte au vent. Il a donc été testé des relations simples et empiriques entre altitude et température dans la zone sous le vent, entre le Port (latitude 20.94° S, longitude 55.29° E) au nord de la zone concernée et St. Joseph (latitude 21.37 S, longitude 55.61E) au sud de la zone, soit une distance d'environ 60 km (figure n° 1).

Dans la partie Ouest de l'île retenue, on dispose de 17 postes météo sur lesquels existe une série d'années de mesures suffisamment longue et complète (minimum de trois ans de résultats et maximum de 20 ans). Ces postes sont situés entre 11 et 1215 mètres, avec une répartition des altitudes relativement régulière (figure n° 1). Les données de base sont des valeurs moyennes mensuelles de l'ensemble de la série.

Des relations ont été recherchées entre l'altitude et la température de chacun des 12 mois calendaires, pour les températures maxi, mini et moyennes journalières.

Résultats

Chaque mois, pour chacune des trois températures (maxi, mini et moyenne) et pour la gamme d'altitude concernée (de 0 à 1200 mètres), il existe une excellente relation linéaire entre l'altitude et la moyenne mensuelle de température (figures n° 2, 3, 4, tableau n° 1). Le R² le plus faible est de 0.909 pour 17 points (t° mini en juillet). Les ordonnées à l'origine (température au niveau de la mer) varient bien sûr d'un mois à l'autre (figure n° 4).

La fluctuation saisonnière est plus ou moins directement en relation avec les variations de durée du jour et du rayonnement extra-terrestre de l'hémisphère sud, avec un maximum en janvier et février et un minimum en juillet et août.

Le gradient thermique (pente des droites de régression) fluctue lui aussi au cours de l'année, de façon un peu plus irrégulière que la température au niveau de la mer (figure n° 5 et tableau n° 1). Cette fluctuation passe par un maxi d'environ 0,79 °C par 100 mètres en septembre et un mini de 0,69 °C en avril pour la température moyenne journalière.

Il est possible de procéder à un ajustement suivant un polynôme du 3^{ème} degré, avec en ordonnée le gradient G (en °C par mètre) et en abscisse le numéro de mois (num, de 1 à 12 de janvier à décembre).

Pour la température maxi :

$$G = 5 \times 10^{-4} \text{num}^3 - 1.13 \times 10^{-2} \text{num}^2 + 6.66 \times 10^{-2} \text{num} - 0.82$$
$$R^2 = 0.81 \quad N = 12$$

Pour la température moyenne :

$$G = 6 \times 10^{-4} \text{num}^3 - 1.13 \times 10^{-2} \text{num}^2 + 5.7 \times 10^{-2} \text{num} - 0.79$$
$$R^2 = 0.90 \quad N = 12$$

Pour la température mini :

$$G = 5 \times 10^{-4} \text{num}^3 - 8.9 \times 10^{-3} \text{num}^2 + 3.43 \times 10^{-2} \text{num} - 0.77$$
$$R^2 = 0.85 \quad N = 12$$

Ces fluctuations au cours de l'année ne sont pas exactement en phase avec celles de la température au niveau de la mer. Les gradients minima correspondent, à peu près, aux maxima de température au niveau de la mer et les gradients maxima aux minima de température au niveau de la mer. Les points d'inflexion sont toutefois légèrement décalés (plus tardifs pour les gradients).

Ces observations semblent pouvoir s'expliquer, au moins en partie, par :

- des variations du gradient adiabatique au cours de l'année : l'air est plus sec en fin de saison sèche (septembre, octobre, novembre) qu'en fin de saison des pluies (février, mars, avril)
- un effet de la mer, réserve d'énergie. En fin de période froide, les points bas, côtiers, bénéficient d'une énergie venant de la mer. Ensuite, le rayonnement augmentant, l'effet maritime diminuerait, induisant une fluctuation saisonnière plus faible au niveau de la mer qu'en altitude
- des variations de l'intensité de la couverture nuageuse au cours de l'année.

Discussion conclusion

Les relations établies, ici, sur une base mensuelle, ne sont bien sûr que des indicateurs généraux de climat et ne peuvent, à elles seules, avoir un quelconque pouvoir prédictif. Il faudrait, pour cela, faire une étude de validation avec une autre série de données statistiques ou avec des données futures. Ce travail pourra être tenté dans un second temps. Il serait intéressant de procéder à la même étude à l'île Maurice ou dans d'autres milieux insulaires à relief marqué, pour vérifier, valider ou adapter ces résultats.

Pour l'instant, cette analyse permet d'affiner les valeurs moyennes pour la zone concernée et de confirmer l'effet très important de l'altitude dans l'estimation de la température à la Réunion. Cette variable paraît donc indispensable dans tout modèle opérationnel prédictif de la température. Il semble que, entre 0 et 1000 mètres d'altitude, le gradient thermique est compris entre 0,7 et 0,8 °C pour 100 mètres de dénivelée, avec des moyennes de 0,75 °C/ 100 m pour l'ensemble de l'année. Ces valeurs paraissent légèrement supérieures à celles communément admises et utilisées jusqu'à présent à la Réunion.

Références bibliographiques

Baldy C. et Stigter C.J. (1993). Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes. INRA éditions, Paris, 246 pages.

Bargeas A. (1984). Evaluation globale de la ressource en eau de l'île de La Réunion ; apport de la simulation par modèles hydrologiques. Doc mult. 84 SGN 232 BRGM Orléans 384 p.

Estienne P. et Godard A. (1978). Climatologie. Armand Colin édit. collection U Paris, 361 pages.

FAO (1980). Réponse des rendements à l'eau. Bulletin FAO n° 33 FAO édit., 235 pages.

Météo-France (1997). Atlas climatique de La Réunion. Météo- France éditeur, 79 pages

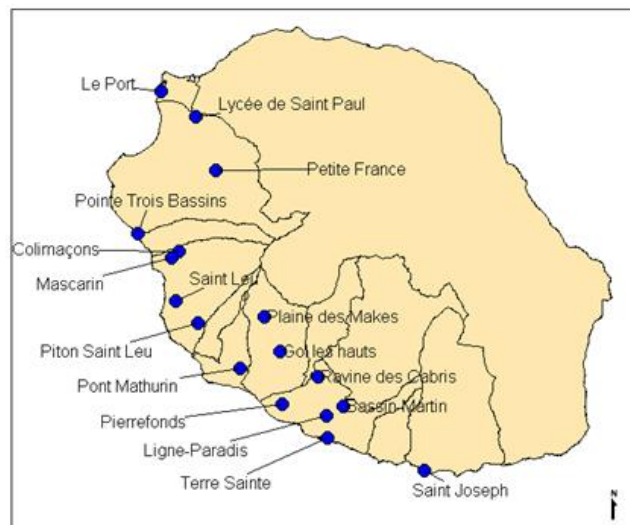


Figure 1. Localisation des sites retenus pour l'étude dans l'Ouest et le Sud-Ouest de l'île de la Réunion.

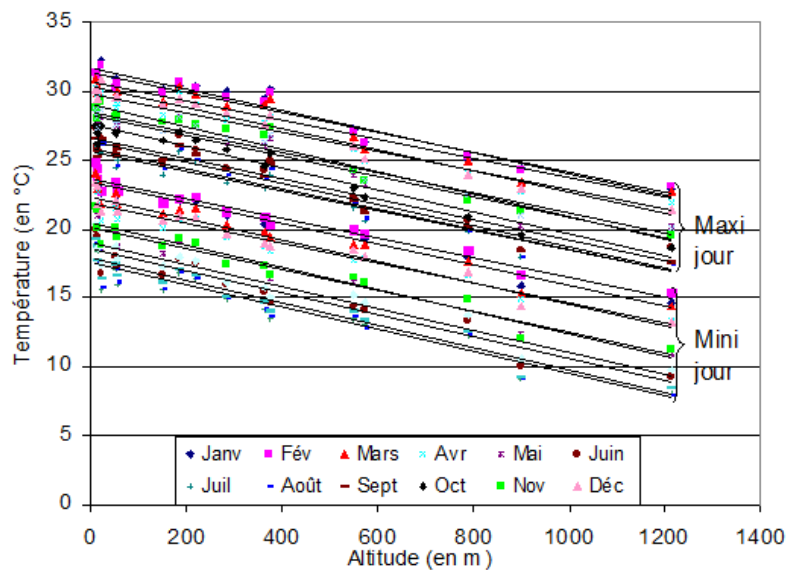


Figure 2. Relation entre l'altitude (entre 11 et 1215 mètres) et les moyennes mensuelles des températures mini et maxi journalières dans l'Ouest de la Réunion. Les valeurs des pentes (a) et ordonnées à l'origine (b) des droites de régression, ainsi que les R^2 figurent dans le tableau n° 1.

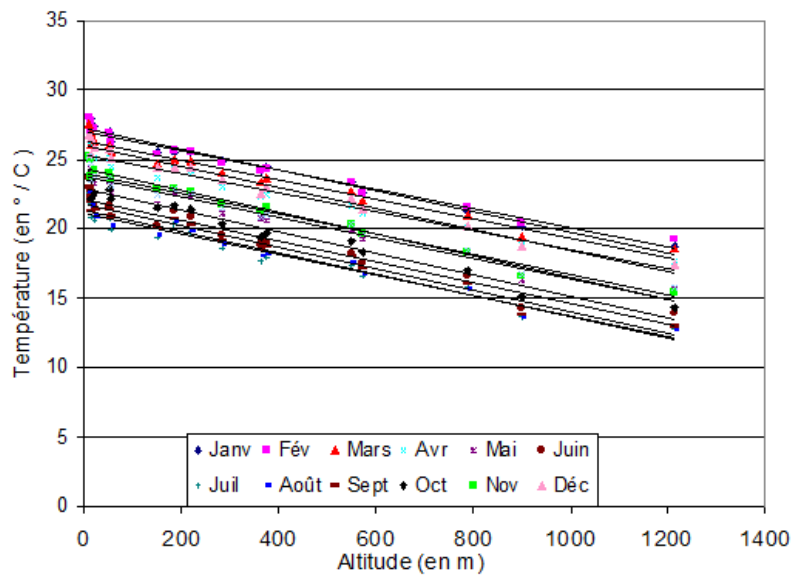


Figure 3. Relation entre l'altitude (entre 11 et 1215 mètres) et les moyennes mensuelles des températures moyennes journalières dans l'Ouest de la Réunion. Les valeurs des pentes (a) et ordonnées à l'origine (b) des droites de régression, ainsi que les R^2 figurent dans le tableau n° 1.

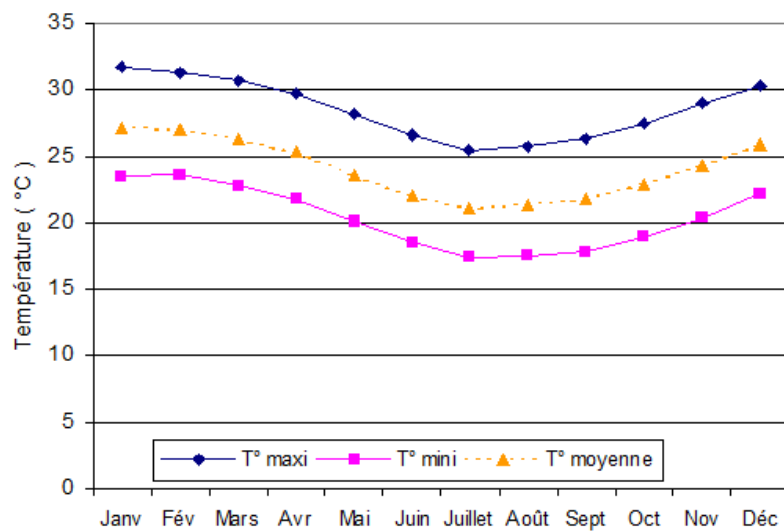


Figure 4. Fluctuations annuelles des moyennes mensuelles de températures (moyenne mini et maxi) quotidiennes dans l'Ouest de la Réunion.

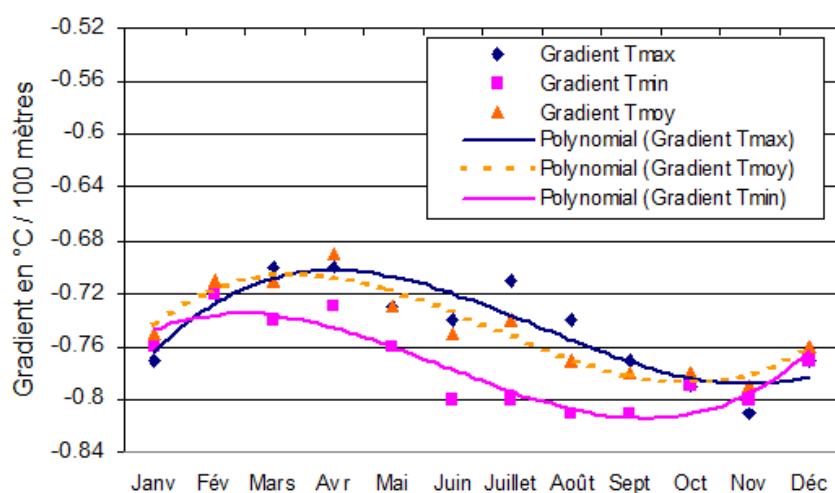


Figure 5. Fluctuations annuelles des moyennes mensuelles des gradients de températures quotidiennes (moyenne mini et maxi) dans l'Ouest de la Réunion.

Température	Ordonnée à l'origine			Pente en °C/100m			R ²		
	mini	moyenne	maxi	mini	moyenne	maxi	mini	moyenne	maxi
Janvier	23.5	27.2	31.7	-0.76	-0.75	-0.77	0.96	0.98	0.96
Février	23.6	27.1	31.3	-0.72	-0.71	-0.72	0.95	0.97	0.95
Mars	22.8	26.4	30.7	-0.74	-0.71	-0.70	0.94	0.96	0.93
Avril	21.8	25.4	29.8	-0.73	-0.69	-0.70	0.94	0.95	0.93
Mai	20.1	23.7	28.2	-0.76	-0.73	-0.73	0.93	0.95	0.92
Juin	18.6	22.1	26.6	-0.80	-0.75	-0.74	0.91	0.93	0.91
Juillet	17.5	21.1	25.5	-0.80	-0.74	-0.71	0.91	0.94	0.92
Août	17.5	21.4	25.8	-0.81	-0.77	-0.74	0.91	0.96	0.91
Septembre	17.9	21.8	26.4	-0.81	-0.78	-0.77	0.92	0.96	0.94
Octobre	19.0	22.9	27.5	-0.79	-0.78	-0.79	0.92	0.96	0.95
Novembre	20.4	24.4	29.0	-0.80	-0.79	-0.81	0.93	0.98	0.96
Décembre	22.3	26.0	30.3	-0.77	-0.76	-0.77	0.95	0.97	0.97
Annuel	20.3	24.0	28.5	-0.76	-0.74	-0.74	0.93	0.96	0.95

Tableau 1. Relations entre l'altitude (entre 11 et 1215 mètres) et les moyennes mensuelles des températures mini moyennes et maxi quotidiennes dans l'Ouest de la Réunion. Valeurs des pentes (a, en °C par 100m) et ordonnées à l'origine (b en °C) des droites de régression, ainsi que des R² pour chaque mois de l'année. Moyennes annuelles en dernière ligne.

Annexe 2 Effet de la température seuil de développement sur la répartition géographique d'une variété



Congrès sucrier ARTAS / AFCAS 2012, La Réunion



Effet de la température seuil de développement sur la répartition géographique d'une variété

De l'adaptation de R583 dans la zone des Hauts sous le vent de La Réunion

Christophe Poser⁽¹⁾, Laurent Barau⁽²⁾, Marion Lecaille⁽³⁾, Mickaël Mézino⁽⁴⁾, Françoise Ruget⁽⁵⁾

- (1) Cirad. UR SCA, Station de La Bretagne - BP 20 - 97408 Saint-Denis Messagerie Cedex 9 - La Réunion poser@cirad.fr
- (2) eRcane, 40 route Gabriel Macé, BP 315 97494 Saint Clotilde - La Réunion. barau@ercane.re
- (3) Cirad. UR SCA / Université Montpellier 3 marionlec@gmail.fr
- (4) Cirad. UR SCA, 7 Chemin de l'Irat, Ligne Paradis 97 410 Saint Pierre - La Réunion mickael.mezino@cirad.fr
- (5) INRA, EMMAH Domaine Saint-Paul - Site Agroparc 84914 Avignon cedex 9 francoise.ruget@avignon.inra.fr

Résumé

A La Réunion, de nouvelles variétés sélectionnées pour des environnements contraints, notamment vis-à-vis de températures basses font la preuve de leur meilleure adaptabilité en produisant plus de biomasse dans les Hauts de l'île.

La dynamique de levée de populations homogènes de boutures d'un seul bourgeon a été étudiée et caractérisée en chambres climatiques à différentes températures constantes, pour trois variétés contrastées. La levée des boutures en fonction du temps est plus rapide et plus complète pour la variété R583, qui est connue pour être mieux adaptée aux basses températures que pour R570 et R577.

Se basant sur l'hypothèse d'une température seuil de fonctionnement plus basse, une simulation des durées de débourrement-levée est réalisée par zone, sur la côte Ouest de La Réunion à partir de données climatiques des 10 dernières années. Un écart de 2 degrés sur le seuil montre l'importance relative de ce paramètre sur la date de levée, ce qui laisse supposer une faculté de la plante à s'implanter plus rapidement.

Un parallèle est fait entre les limites géographiques obtenues, où l'implantation à dire d'expert est possible au vu du temps nécessaire en jour pour la levée et celles qu'illustrent les zones effectives récentes de plantations de la variété R583.

La bonne implantation d'une variété, sans garantir une meilleure production finale en biomasse et en sucre, représente un atout indéniable dans l'implantation de la culture, notamment pour la compétition vis-à-vis de la flore adventice.

L'outil de cartographie, associé utilisant les nombreuses données météorologiques disponibles, a permis d'illustrer l'effet de 2 valeurs de températures seuils sur la durée nécessaire à la levée.



Introduction générale

La culture de la canne à sucre à La Réunion se distingue par une grande diversité de conditions pédoclimatiques. Ainsi, elle est plantée depuis le niveau de la mer jusqu'à des zones de culture atteignant les 1 000 mètres d'altitude, et bénéficie de pluviométries annuelles de 600 à plus de 4 000 mm. Une zone en particulier cumule des altitudes élevées et une faible pluviométrie, sans bénéficier de l'irrigation : les Hauts de l'Ouest. Deux variétés sélectionnées dans des conditions différentes y sont cultivées majoritairement. En 2008, eRcane a libéré la variété R583, sélectionnée dans les Hauts de l'Ouest, et spécifiquement adaptée à cette zone. Elle a un meilleur rendement par rapport aux variétés commerciales R570 et R577.

Les meilleures performances de la variété R583 dans les Hauts de l'Ouest s'expliquent-elles par une meilleure adaptation générale aux basses températures ? En particulier, quel serait l'effet d'une température seuil de fonctionnement plus basse, qui s'illustrerait dès la levée ?

1. Contexte & Problématique

La consommation mondiale de sucre est en augmentation. La part relative de production de sucre à partir de canne au regard d'autres plantes saccharifères ne cesse d'augmenter pour passer de 2/3 à 3/4. De plus, les valorisations de productions autres que le sucre sont en augmentation grâce aux produits énergétiques de substitution à l'énergie fossile (éthanol, biogaz) ou divers (pharmaceutique, chimie verte...) de mieux en mieux rémunérés. De ce fait, les surfaces sous culture sont en extension et s'étalent maintenant vers des milieux divers et parfois sous contraintes. A La Réunion notamment, mais aussi en Argentine (Romero, 2005), au Mexique, en Inde ainsi qu'en Afrique du Sud, la canne est cultivée en altitude.

La culture, installée pour plusieurs cycles de récolte (5 à 15, parfois 20) se trouve en compétition avec des adventices qui se sont adaptées naturellement dans le temps et qui ont développé des stratégies de conquête de l'espace. Dans ces milieux, l'implantation d'une nouvelle culture en concurrence avec les espèces végétales existantes, est la première étape du cycle et, par cela, elle est déterminante.

1.1. Les Hauts sous le vent, une zone de contraintes

L'étude se restreint aux Hauts de l'Ouest, aux zones potentiellement agricoles au dessus de 600 mètres de la zone sous le vent, côte Ouest et Sud (Figure 1).

Cette zone de production représente 26 % de la sole cannière. Les rendements sont plus faibles pour cette zone de contraintes principalement climatiques : température plus basse, ensoleillement réduit, apports en eau irréguliers et mal répartis.

Localisation des cultures de Cannes



Figure 1. Limites des Hauts de la Réunion

Les Hauts sont confrontés à des températures relativement fraîches, particulièrement durant l'été austral (Figure 2). La différence de températures moyennes minimales interannuelles décennales sur les 10 dernières années entre les relevés d'une station météorologique des Hauts de l'Ouest (Les Colimaçons : 800 m) et une station située sur le littoral (La Mare : 10 m) est de l'ordre de 6°C.

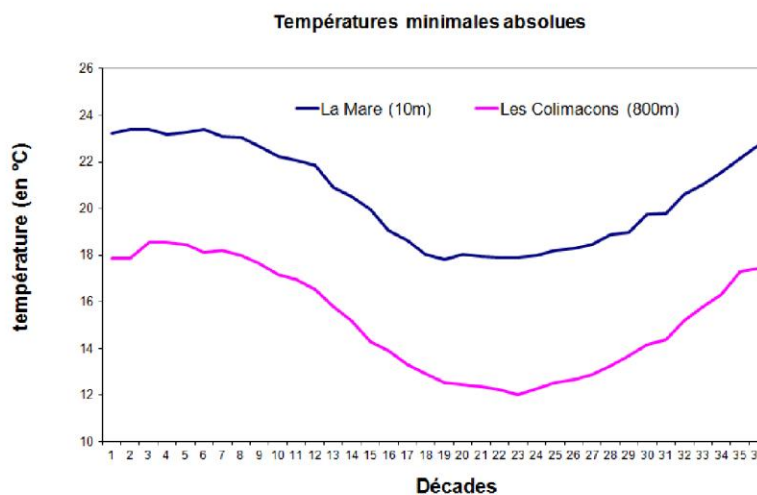


Figure 2. Moyenne décennale des températures minimales sur 10 ans pour les stations météorologiques des Colimaçons (800 m) et La Mare (10 m).

Les précipitations pour les Hauts sont caractérisées par leur répartition déséquilibrée (de 0 à 10 mm pour les décades les plus sèches à plus de 100 mm pour les plus pluvieuses selon des données sur trente ans (Vivet J.B., 2005) sur l'année et leur irrégularité d'une année sur l'autre. Durant certaines périodes de l'année, les précipitations ne suffisent pas à compenser l'évapotranspiration. Ces périodes de déficit hydrique ne sont pas propices à la plantation.

La présence de masses nuageuses renforcé par l'effet de foehn va concentrer les nuages sur les Hauts réduisant ainsi le rayonnement solaire disponible pour les plantes qui peuvent être privées jusqu'à 30 % du rayonnement journalier comparé à la zone littorale.

Outre les contraintes climatiques qui pénalisent la culture de la canne à sucre dans les Hauts de l'Ouest, il existe une forte concurrence avec les adventices toujours mieux adaptées aux contraintes thermiques et radiatives de ces zones.

1.2. De nouvelles variétés mieux adaptées

Jusqu'alors la sélection variétale ne permettait pas de sélectionner des variétés adaptées aux zones d'altitude. Le programme de sélection se réalisait majoritairement sur le site de la Bretagne, une zone littorale irriguée. Aujourd'hui encore, les deux variétés dominantes dans les Hauts de l'Ouest sont R570 et R577, toutes deux sélectionnées à La Bretagne (Figure 3).

La variété R570, libérée par le C.E.R.F. (Centre d'Essai de Recherche et de Formation, devenu eRcane en 2009) en 1978 est une variété rustique, avec une zone d'adaptation assez large, mais qui est déconseillée au-delà de 550 mètres d'altitude dans l'ouest. Toutefois, les planteurs l'ont plébiscitée au point de la planter sur la quasi-totalité de l'île au début des années 1990. Elle reste aujourd'hui encore une des deux variétés dominantes dans la zone des Hauts de l'Ouest, avec R577, conseillée elle aussi sur la même zone pour sa tolérance à la sécheresse et libérée en 1987. Elle reste aujourd'hui fréquemment plantée sur la sole cannière des Hauts (Figure n°3).

Depuis le début des années 90 et l'ouverture de la station de sélection de Vue-Belle dans les Hauts de l'Ouest, l'objectif est de sélectionner des variétés spécifiquement adaptées aux contraintes de la zone. Le schéma de sélection d'eRcane durant 15 ans, la première variété issue de cette station a été libérée en 2008.

Localisation des variétés en 2011

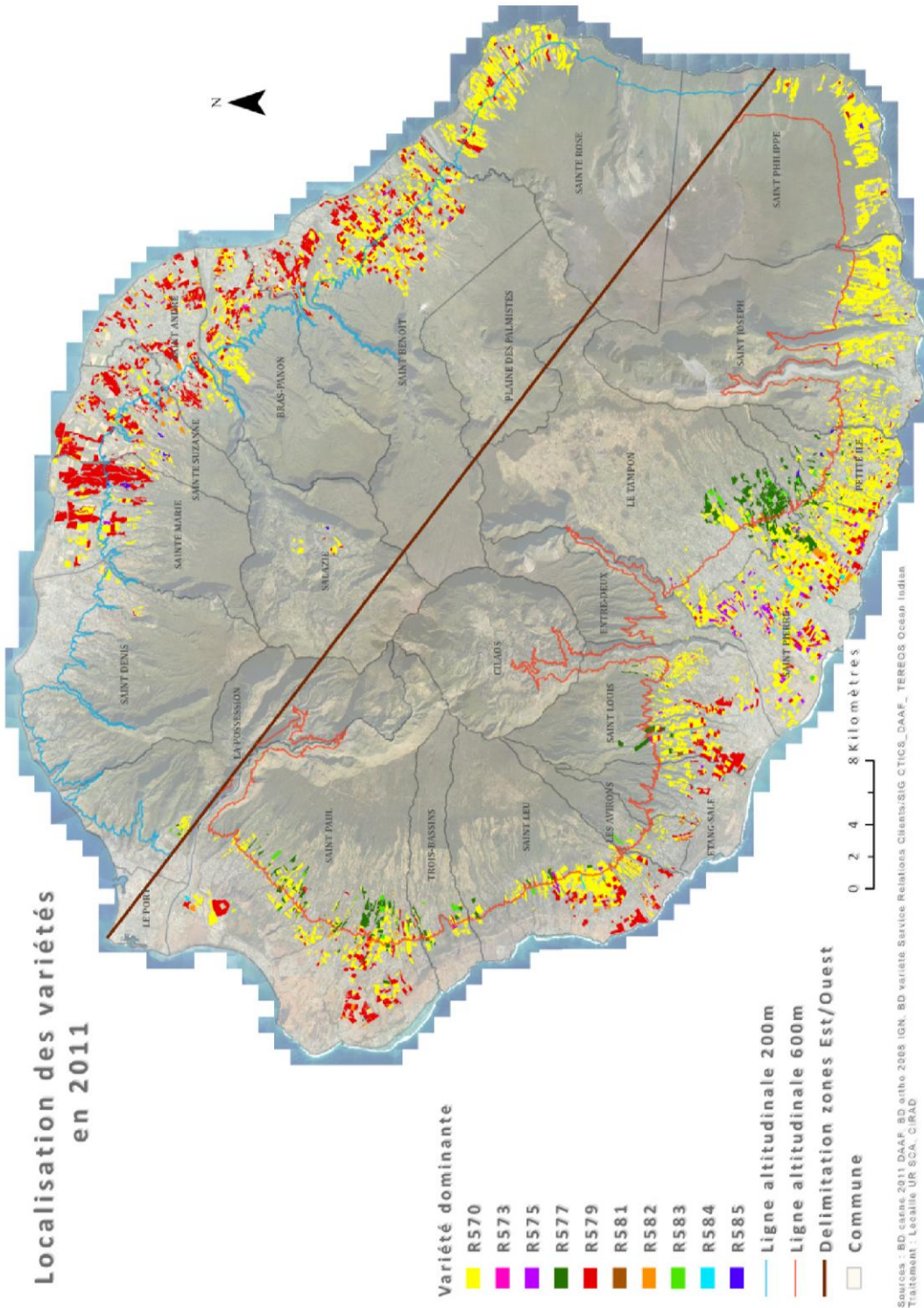


Figure 3. Zone d'étude et statut variétal du parcellaire cannier de La Réunion

La variété R583, née du croisement entre R575 et la variété hawaïenne H72/8597 a commencé son cycle de sélection en 1992 sur la station de sélection eRcane de Vue-Belle située à La Saline-Les-Hauts, dans les Hauts de l'Ouest (700 m d'altitude, 900 mm de pluie par an, conditions pluviales). Première variété libérée sur cette station de 30 hectares ouverte à la fin des années 1980, elle est spécifiquement adaptée aux zones d'altitude sèches des Hauts de l'Ouest. C'est une variété ayant une très forte vigueur végétative, même dans des conditions fraîches. Elle présente un très fort rendement en cannes par rapport aux variétés R570 et R577 et en sucre extractibles supérieur de 33 % comparé à R577 (Figure 4).

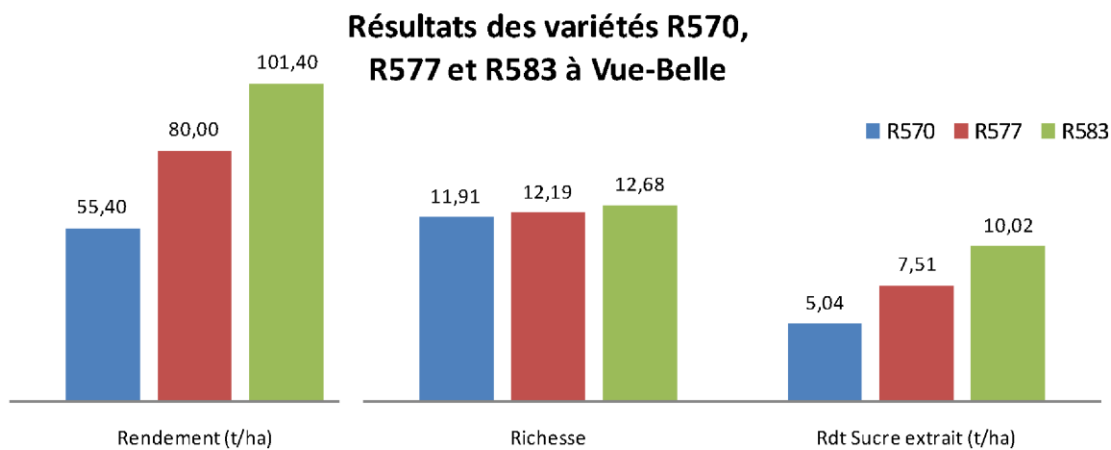


Figure 4 : Performances des variétés R570, R577 et R583 dans un essai régional d'eRcane à Vue-Belle (résultats sur une vierge et 2 repousses)

Ces bons résultats de R583, par rapport aux variétés R570 et R577 ont entraîné une rapide diffusion de la variété (Carocanne, décembre 2010). Au cours des trois dernières campagnes de plantation de 2009 à 2012, les planteurs ont choisi R583 sur plus de 150 ha représentant 34% des surfaces replantées des Hauts sous le vent contre 40% et 21% respectivement pour R577 et R570 (Figure 5).

Les grands processus du développement de la canne à sucre se caractérisent par le débourrement, qui permet la levée, puis l'émission et la croissance des feuilles, accélérée par le tallage, qui permet d'installer le couvert végétale qui tend vers un maximum (Bezuidenhout, 2003). Cet état correspondant à un indice foliaire maximum qui reste stable, sauf accident, permet l'interception radiative maximale.

Partant ainsi du principe que l'implantation est un passage obligé et que sa réalisation dans un temps bref doit être un atout pour la suite de la culture, surtout en zone contrainte d'altitude, nous souhaitons (i) caractériser les performances de trois variétés à la levée sous différentes conditions de température, (ii) illustrer l'importance du type de résultat obtenu sur le terrain à l'aide d'un outil de cartographie.

Plantations de cannes à sucre campagnes 2009/2010, 2010/2011 et 2011/2012

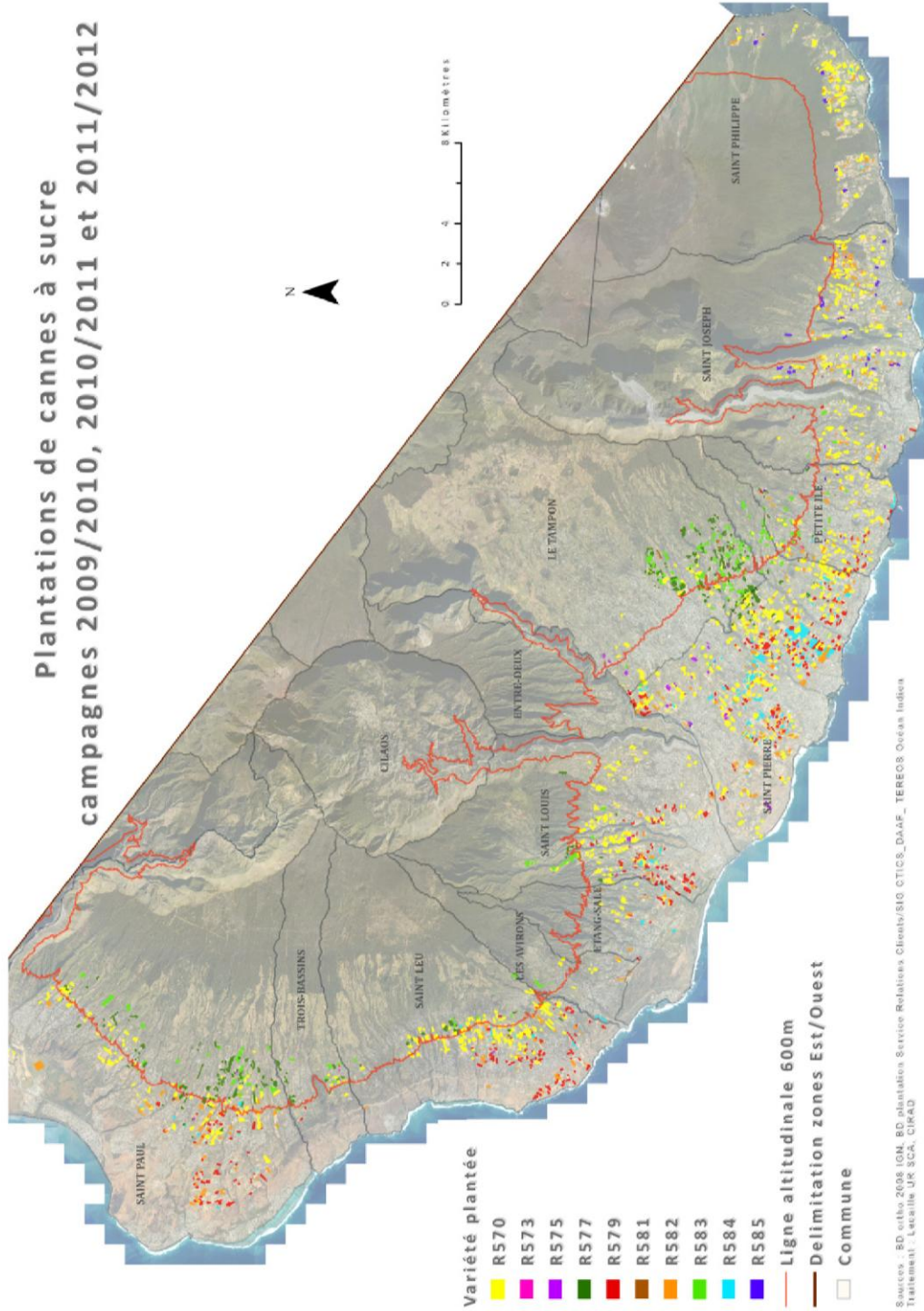


Figure 5. Plantation de la variété R583 lors des trois dernières saisons de plantation depuis 2009 sur la côte Ouest de l’île

2. Matériel et Méthode

2.1. Sélection et provenance des boutures

En condition de basse température (valeur non précisée), Clements (1980) signale qu'indépendamment du nombre d'entre-nœuds par bouture, pour chacune des boutures, seul le bourgeon qui était placé le plus vers le sommet de la tige lève. Pour éliminer toute interférence de ce phénomène de dominance apicale, nous avons choisi de n'utiliser que des boutures d'un seul bourgeon. Ces boutures ont été sélectionnées pour leur bon état sanitaire, à partir de parties médianes de tiges mères cultivées dans un même champ aux conditions optimum hydriques et nutritionnelles et prélevées, toutes variétés confondues, au même âge (en jour).

2.2. Choix des températures et chambres climatiques

Les boutures sont réparties de façon à représenter des populations homogènes soit en 4 séries à 15°C, 19 °C, 25 °C et 28 °C dans des chambres climatiques aux températures constantes, encadrant la gamme de température de la zone étudiée. Les conditions d'humidité sont favorables, elles garantissent le déclenchement du débourrement des bourgeons, permettant la levée.

2.3. Mesures et conditions

On mesure le temps nécessaire à la pousse de 1 cm hors du sol du bourgeon (Smit 2011). La date de levée de chacune des boutures est notée chaque jour et transformée en temps nécessaire à la levée (en jours). Ces capacités sont mesurées par le taux, la durée et l'étalement dans le temps (Brown, 1988).

2.4. Notion de stade physiologique, de somme de température et de seuil de fonctionnement

Dans la littérature, le temps thermique est utilisé pour la caractérisation des stades physiologiques afin de comparer des variétés. L'utilisation des degrés.jour, au dessus d'une température seuil de fonctionnement permet en effet de caractériser un génotype quelque soit l'environnement frais ou chaud dans lequel il est cultivé. Les degrés au dessus d'une température seuil de fonctionnement, éventuellement propre à chaque variété, sont comptabilisés quotidiennement. Les stades physiologiques comme la levée, la maturation ou le fleurissement sont ainsi quantifiés en somme de degrés.jour (Bonhomme, 2000).

2.5. Projection géographique

Dans le cadre de cette étude, nous souhaitons représenter, l'influence de l'écart de 2°C de température seuil de fonctionnement sur le nombre de jours nécessaires au processus de débourrement levée sur l'Ouest de La Réunion.

Un zonage a été réalisé par découpe altitudinale du territoire par tranches de 100 m d'altitude à partir du MNT et une découpe en transects le long des ravines. La limite haute de 1 300 m

d'altitude a été retenue soit 300 m environ au dessus de la limite actuelle de plantation. L'espace est ainsi découpé en 7 Zones, tranchées en polygones de 100 m d'altitude, soit 91 polygones couvrant la zone d'étude auxquels sont affectées des stations météorologiques de référence (Figure 6). La localisation et la disponibilité des données sur une période de minimum 10 ans ont été privilégiées.

Les données météorologiques, températures maximum et minimum journalières ont été collectées depuis une base de données Cirad et Météo France hébergée sur la plateforme Margouill@ © Cirad. Une correction des données des valeurs journalières utilisées $[(\text{température maximum} + \text{température minimum}) / 2]$ est effectuée en fonction des différences d'altitude du centroïde du polygone et de la station servant de référence selon l'équation obtenue par Chopart (2002).

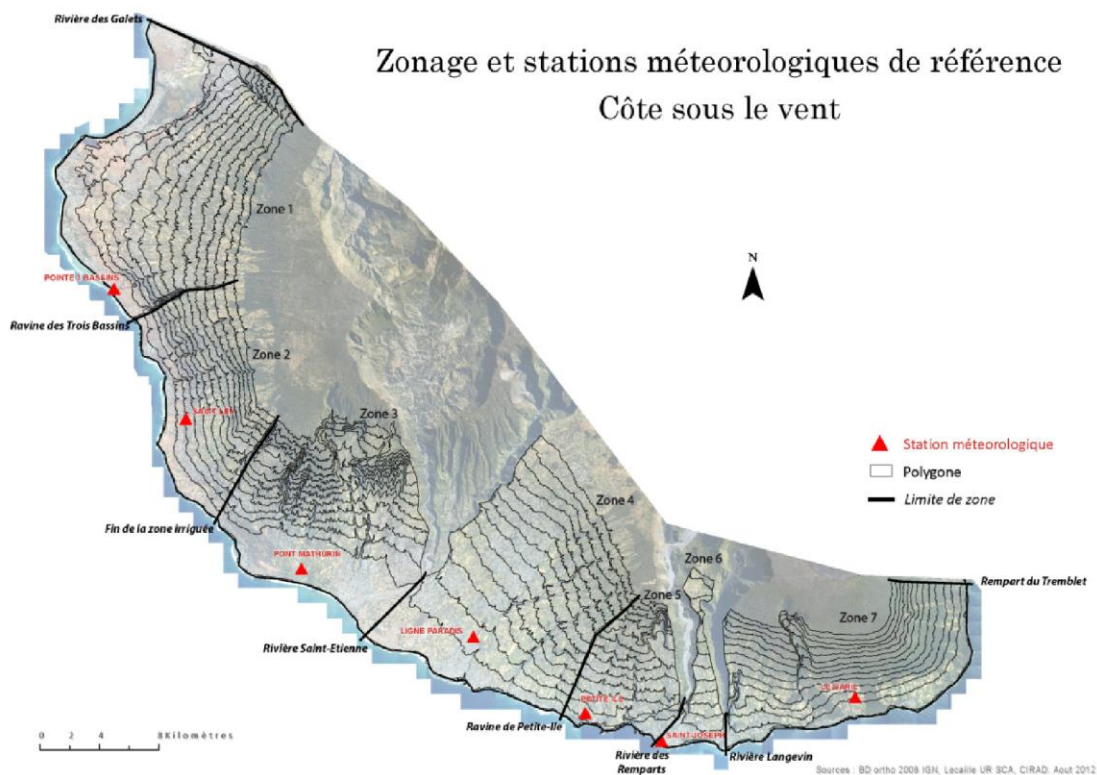


Figure 6. Zonage et stations météorologiques de référence

Pour chaque polygone, on crée une année de référence pour laquelle on affecte à chaque jour du calendrier le nombre de jours nécessaires pour atteindre la demi-levée dans 80% des cas (4 années sur 5). Cette durée en jour, obtenue ainsi en année « fraîche » (QF : quinquennale fraîche) est calculée pour les températures seuils de 11°C et de 13°C.

La date choisie de plantation au 15 octobre repose sur la possibilité d'anticiper la date de récolte dès la campagne sucrière suivante à l'issue d'un minimum de 14 voir 16 mois de culture.

3. Résultats & Discussion

3.1. Levée en chambre

Les relevés journaliers nous donnent les dynamiques de débourrement levé suivants pour les trois variétés aux quatre températures (Figure 7). La température a une influence indéniable sur le processus qui est ralenti par le froid pour les trois variétés. A 15°C la variété R577 ne lève pas, alors que R583 lève significativement plus que la R570.

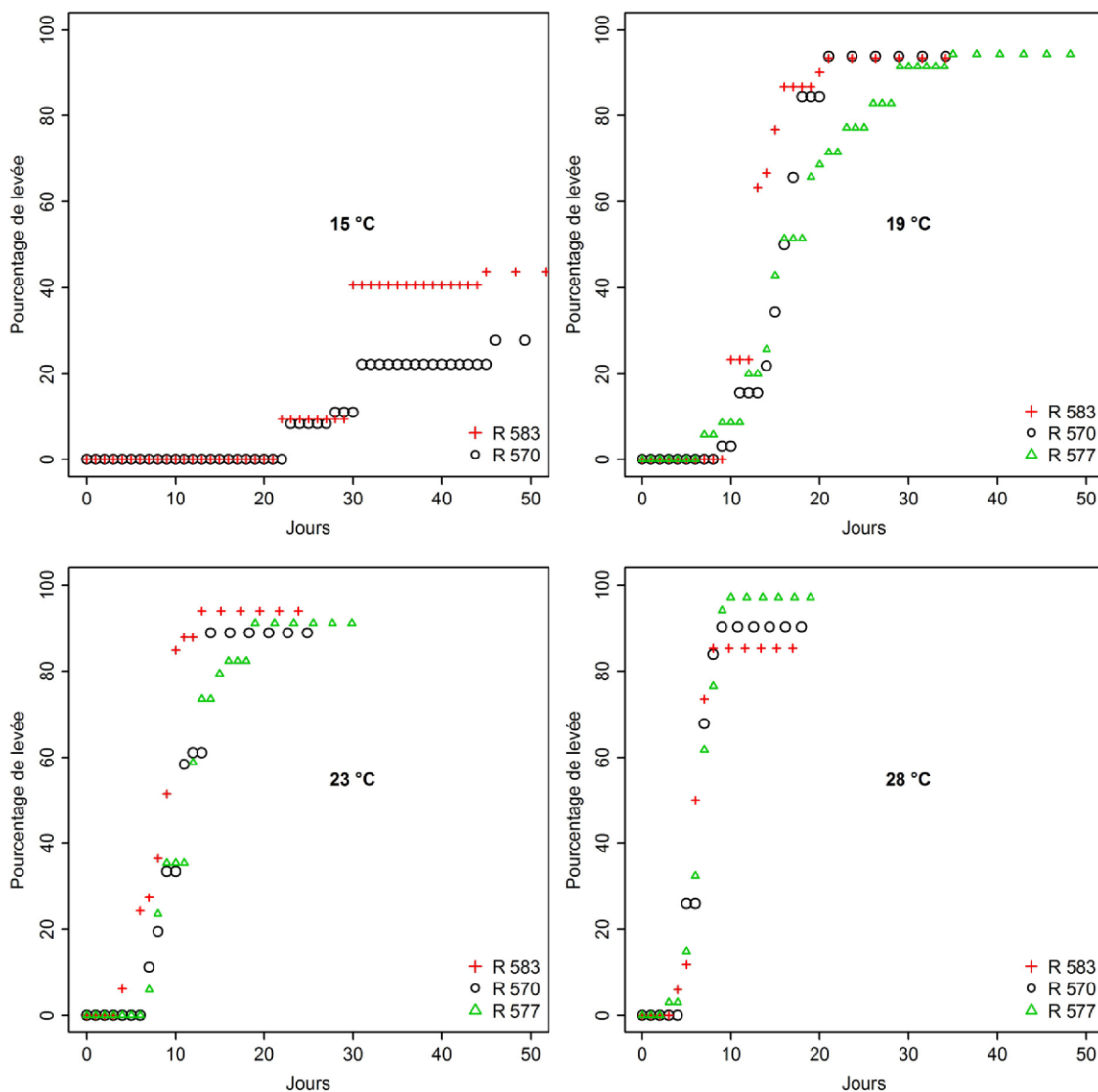


Figure 7. Evolution des taux de levée (en jour) de trois variétés placées en condition de débourrement levée dans trois chambres climatiques à températures constantes de 15, 19, 23 et 28°C.

R583 possède des caractéristiques physiologiques qui lui permettent d'être plus performante à la levée que R570 et R577. Elle lève plus tôt, plus vite à toutes les températures (Figure 7). Aussi, ces différences variétales s'expriment d'autant plus que l'on se situe aux températures les plus fraîches. Il semble que R583 valorise mieux les basses températures que ne le font les

autres variétés. Des travaux en cours au Cirad (C. Poser) tendent à montrer que la R583 présente une température seuil de fonctionnement sensiblement plus faible que les autres variétés testées. Deux degrés de moins que la R570 (soit 11°C contre 13°C) pour une somme de degrés.jour équivalente (100°J) pour atteindre la demi-levée (50% des bourgeons levés).

3.2. Simulation sur le terrain

Pour illustrer l'importance de la température seuil de fonctionnement, nous avons choisi de simuler sur le terrain la durée nécessaire pour atteindre la demi-levée pour deux types de variétés ayant un besoin identique en degrés.jours mais des températures seuil de fonctionnement différentes : $t_b = 11^\circ\text{C}$ et $t_b = 13^\circ\text{C}$. La date de plantation choisie pour la simulation est le 15 octobre, juste avant la saison chaude.

Les simulations mettent en évidence un gradient altimétrique. Alors qu'il ne faut pour t_b13 que 8 à 11 jours dans les Bas pour atteindre la demi-levée, 15 à 20 jours sont nécessaires à une altitude de 600 à 900 m (Figure 8B). Pour t_b11 , il faut également 8 à 11 jours dans les Bas mais seulement 11 à 15 jours entre 600 et 900 m (Figure 8A).

Les simulations obtenues illustrent les différences existantes entre les deux types de variétés, l'une : $T_b 11$ pourra être plantée à une altitude plus élevée à la date retenue. Pour celle à t_b13 au delà de 600 m, 15 jours sont au minimum requis, ce qui compromet la réussite de la plantation.

Cet exercice montre l'importance du seuil de fonctionnement, paramètre physiologique lié à la température, dans la capacité d'adaptation d'une variété.

Pour un planteur il est effectivement important de pouvoir bénéficier de variétés mieux adaptées aux températures fraîches : planter dès le mois d'octobre une variété vigoureuse qui assure un rendement potentiel conséquent permettrait de bénéficier d'une première récolte après 12 mois ou 14 mois entraînant un avantage économique indéniable.

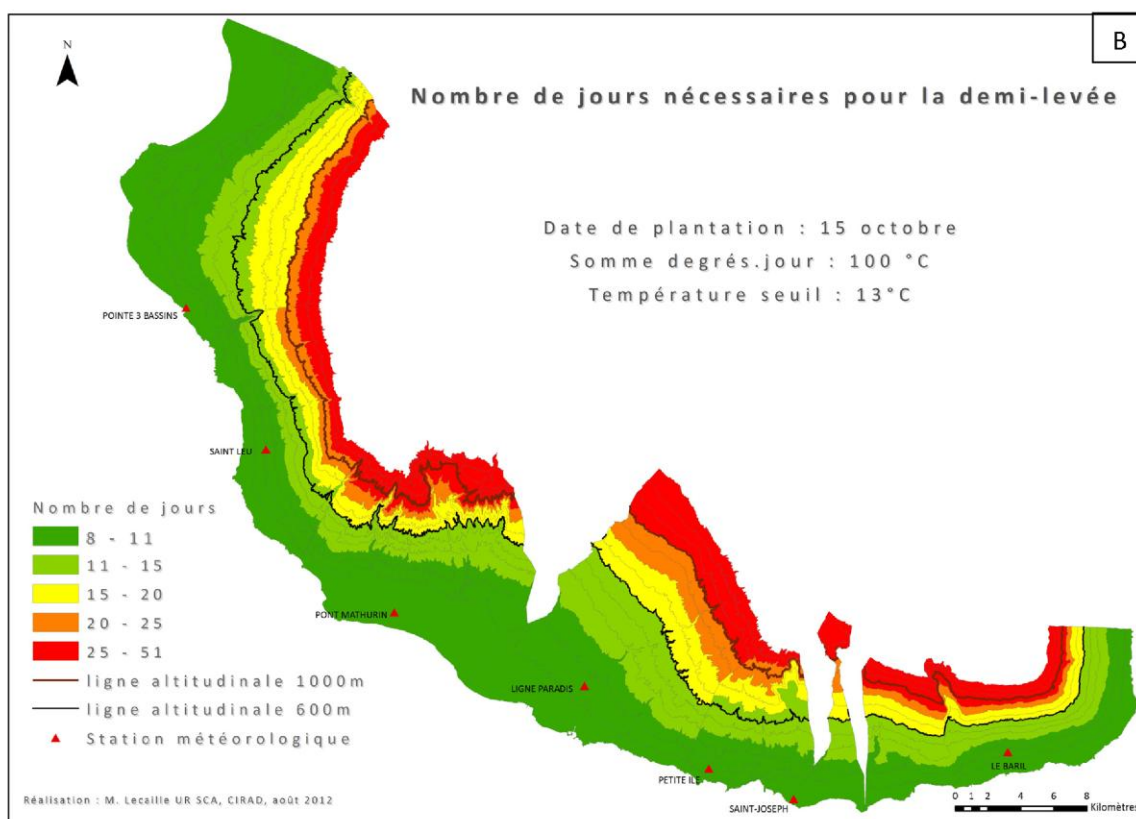
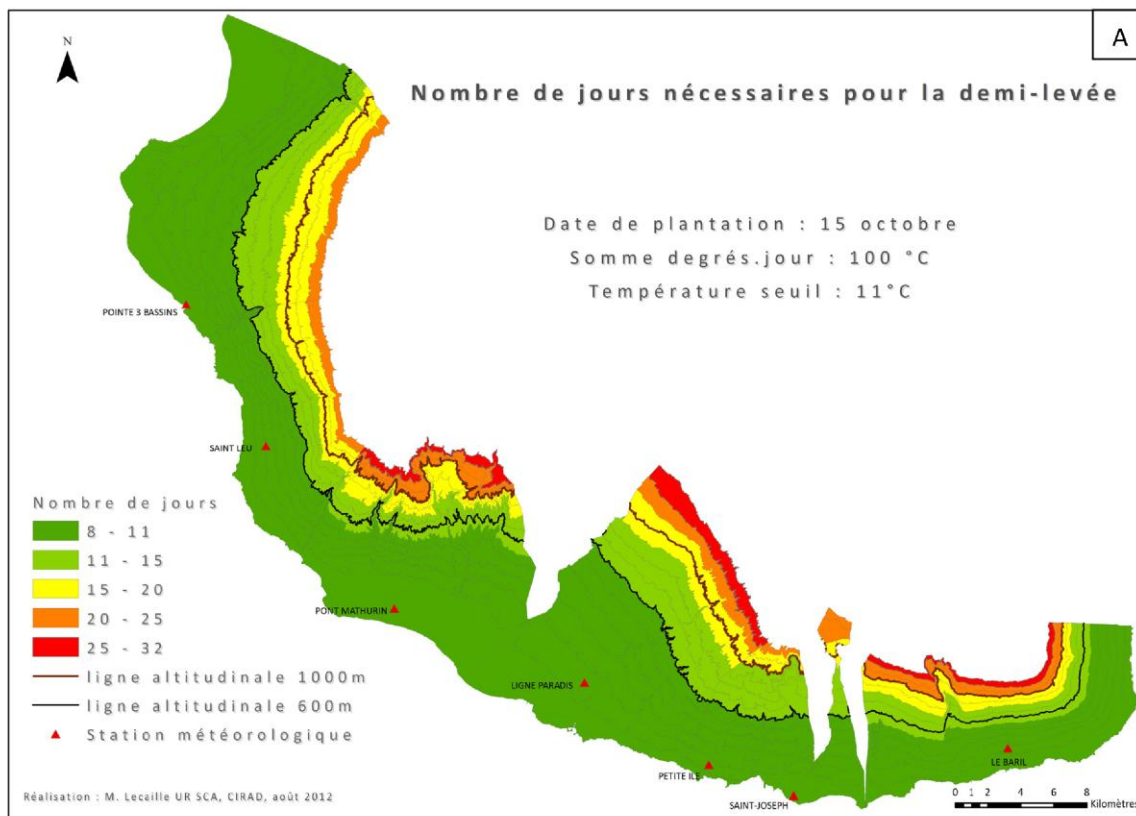


Figure 8 A et B : Nombre de jours nécessaires pour la demi-levée (50 % des boutures ayant levées) pour deux types de variétés aux températures seuils de 11°C (A) ou 13°C (B).

4. Conclusion et perspectives

Les tests en chambres climatiques aux températures comprises dans la gamme réelle des conditions de plantation au champ permettent d'appréhender une adaptation potentielle d'une variété au débourrement-levée aux basses températures.

Nous avons montré que certaines variétés peuvent lever plus tôt, plus vite et plus que d'autres malgré des températures plus fraîches.

La température seuil de fonctionnement a une influence conséquente sur la durée nécessaire au débourrement-levée d'une variété. Elle peut conditionner l'adaptation à un environnement où les conditions thermiques constituent un handicap au développement. Les simulations ont montrés qu'un type de variété à la température seuil de fonctionnement inférieur de 2 degrés (11°C contre 13°C) étendrait ses limites de plantation d'environ 300 m au 15 octobre.

Certes, cette première phase d'implantation de la culture ne peut à elle seule refléter la capacité d'un génotype à s'adapter à un environnement contraint, mais représente un atout pour l'avenir de son développement.

La caractérisation de variétés en chambres climatiques permettrait d'identifier celles qui sont susceptibles de mieux s'adapter dans les Hauts, ce qui en ferait un outil intéressant pour les travaux de sélection.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier les techniciens, les stagiaires et collaborateurs qui ont contribué depuis les essais en chambres jusqu'à la saisie des données aux champs, le personnel de la DAAF, du Ctics (M Frédéric Payet), du syndicat du Sucre (Mme Aurore Bury), des Pôles canne pour les données de plantation, l'Equipe Artist pour les requêtes sur données météorologiques Cirad/Météo-France.



Bibliographie

Bezuidenhout CN, O'Leary GJ, Singels A, Bajic VB. 2003. A process-based model to simulate changes in tiller density and light interception of sugarcane crops. *Agricultural Systems* 76: 589-599.

Bonhomme R. 2000. Bases and limits to using 'degree.day' units- a review- *European Journal of Agronomy*, 13,1, 1-10.

Brown R.F., Mayer D.G. 1988. Representing Cumulative Germination. *Annals of Botany*, 61 (2): 127-138.

Caro canne. Décembre 2010. De R570 à R585 Neuf variétés à planter.

Chopart J.L., Mézino M., Le Mezo L. 2002. *Revue agricole et sucrière de l'île Maurice*, 80 (3 - (2002)vol.8) : 68-72. Congrès de la Société de technologie agricole et sucrière de Maurice. 10, 2002-09-27/2002-10-01, Réduit, Maurice.

Clements HF. 1980. *Sugarcane Crop logging and crop control - principles and practices* -, London: Pitman Publishing Limited.

Romero ER, Scandallaris J, Tonatto J, Leggio Nelvie M, Sotomayor L. 2005. Effects of different management factors on plant cane emergence in Tucuman - Argentina. *Proceedings of the International Society Sugar Cane Technologist* 25: 246-250.

Smit M.A. 2011. Characterising the factors that affect germination and emergence in sugarcane. *Sugarcane International*, 113 (1345): 65-67.

Vivet J.B., 2007 *Pérennisation d'une filière menacée à La Réunion : le cas de la culture cannière irriguée des Hauts de l'Ouest*. 79 p. Mémoire de fin d'étude Istom.

Résumé

La culture de la canne à sucre est un véritable enjeu économique, social et environnemental sur l'île de La Réunion. Les terres de plantations subissent une forte pression foncière due à la démographie croissante.

De nouvelles variétés sélectionnées pour leur résistance à un climat plus difficile, notamment des températures plus faibles, permettrait de palier à cette concurrence en plantant la canne dans les Hauts de l'île de La Réunion.

Les plantations dans les « Hauts » sont déjà effectives puisqu'elles représentent 26% de la sole cannière en 2011, et les nouvelles bases de données permettent désormais de connaître les zones de plantation d'une variété et la surface associée de façon précise.

Se basant sur l'hypothèse d'une température seuil de fonctionnement plus basse, une simulation des durées de débourrement-levée est réalisée à partir de données climatiques des 10 dernières années et traduit géographiquement à l'aide de l'outil SIG sur la côte Ouest de La Réunion.

Mots clé : Canne à sucre, contraintes culturelles, zonage, Températures et plantation de canne, sélection variétale, les « Hauts », projection géographique critères agronomiques.

Summary

The cane sugar is a real major economic, social and environmental impact on the island of Réunion. Land plantations are under pressure due to land growing population.

New varieties selected for their resistance to a more difficult, especially at lower temperatures, would overcome this competition by planting sugarcane in the highlands of the island of Reunion.

Plantations in the "Hauts" are already effective as they represent 26% of the sole sugarcane in 2011, and new databases can now identify which parts of a plant variety and the associated surface accurately.

Based on the assumption of a threshold temperature lower operating a simulation times bud-emergence is made from climatic data of the last 10 years and geographically translated using the GIS tool on the coast west of La Réunion.

Keywords: Sugarcane, cultural constraints, zoning, Temperature and cane plantation, varietal selection, the "Hauts" geographic projection agronomic criteria.