

Caractérisation morphologique et moléculaire de variétés de Cacaoyer cultivées dans le département de la Grand 'Anse à Haïti

M. BOCCARA ^{1,2}, L.A. MOTILAL ², C. PIERRE ³, P. UMAHARAN ².

¹ CIRAD, UMR AGAP, F-97387 Kourou, Guyane Française, France

² Cocoa Research Centre, The University of the West Indies, St. Augustine, 330912, Trinidad and Tobago

³ Catholic Relief Services CRS, Port-au-Prince, HT 6120, Haïti

Le projet “ Caractérisation morphologique et moléculaire de variétés de cacaoyer en Haïti” financé par le Catholic Relief Service et ses partenaires à Haïti, a été mené par le Cocoa Research Centre de l’Université des West Indies (CRC) en 2015/2016. Une enquête stratifiée a été réalisée dans 400 exploitations dans le département de la Grand’ Anse, par une équipe locale. Une équipe du Cocoa Research Centre avait fourni une formation locale portant sur la stratégie et la collecte de données pour établir des fiches d’identité, des données de géolocalisation GPS et les protocoles d’échantillonnage de feuilles. Les observations et mesures portant sur les caractéristiques ont été réalisées sur les arbres, les fleurs, les fruits et les graines; des feuilles ont été récoltées sur chaque arbre choisi pour une caractérisation moléculaire. Un profil moléculaire de chaque échantillon de feuille a été obtenu en utilisant un set de 182 marqueurs SNP au laboratoire du CRC/UWI à St Augustine, Trinidad. Les analyses des profils SNP et des données d’observations morphologiques ont été réalisées au CRC. La diversité du cacaoyer échantillonné dans les fermes de la région d’étude est présentée en mettant l’accent sur leur origine, la diversité génétique, la conservation du germplasm et son utilisation dans le but de croisements.

• Introduction

L’ambition du projet était d’évaluer la diversité génétique du cacao cultivé dans le Département de la Grand’ Anse situé dans la péninsule Sud-Ouest de Haïti, dans le but de développer une stratégie génétique pour le développement du cacao à Haïti.

Selon différentes sources, les surfaces plantées dans le département de la Grand’ Anse représenteraient les deux tiers du verger cacaoyer haïtien, et le nombre des exploitations s’élèverait à 4000, sur une surface d’environ 16000 Ha. Les calculs réalisés à partir des chiffres de production connus montrent que les rendements seraient de l’ordre de 250 à 375 kg de cacao par hectare.

Le système de culture est une structure agroforestière à 3 étages : étage supérieur composé d’essences forestières exploitées pour la construction et l’alimentation (arbre à pain), l’étage intermédiaire constitué des cacaoyers et autres fruitiers (Manguiers, avocatiers et divers citrus), et l’étage inférieur étant le lieu des cultures alimentaires (tubercules et bananiers).

2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru 13-17 November 2017

Une observation visuelle globale des fruits produits dans diverses parcelles du département conduit à penser qu'il existe toute une gamme de variétés résultant d'introgression entre groupes d'origines différentes. En effet, au fil des siècles des introductions successives se sont produites en provenance de pays limitrophes ; de plus, divers projets de développement intervenus depuis les années 1950, ont contribué au remplacement du verger original par un éventail de variétés en mélange.

Une grande partie des paysans et quelques organisations non gouvernementales sont cependant convaincues qu'il faut produire la « variété Criollo », sans vraiment pouvoir l'identifier.

L'étude conduite a porté sur un échantillon de 400 exploitations sur quatre communes (Dame Marie, Anse d'Hainault, Chambellan et Les Irois), soit un dixième des fermes recensées dans le département. (Fig.1)

- **Echantillonnage et gestion des données**

Des missions d'experts avaient pointé la nécessité de faire un inventaire des variétés de cacaoyers présentes dans les vergers de la région. L'ONG CRS (Catholic Relief services) bien implantée dans le département et travaillant avec des coopératives et associations locales a fait appel au Cocoa Research Centre, Trinidad, pour élaborer un projet avec pour objectif principal d'obtenir les informations morphologiques et moléculaires des variétés de cacaoyers à des fins d'utilisation par les agriculteurs, les scientifiques, les agents de développement et autres intervenants de la filière.

Sur proposition de l'antenne locale de CRS, qui avait recensé un total d'environ 1600 exploitations dans leur zone d'intervention, un échantillon de 400 fermes a été sélectionné. Les enquêteurs formés lors de précédentes missions ont recueilli les données auprès de chaque exploitant agricole afin de rassembler pour chacun, toutes les informations requises pour l'établissement d'une fiche d'identité de l'échantillon. Les feuilles ont été aussi prélevées afin de procéder à l'extraction d'ADN pour l'obtention d'un profil moléculaire individuel. Le modèle de fiche d'enquête est fourni en Annexe1.

La stratégie adoptée a été de se baser sur la sélection d'un arbre remarquable par exploitation, et de connaître les critères de choix. Une fiche d'identité a été établie en collectant les réponses de l'agriculteur, et en réalisant une série d'observations morphologiques et phénotypiques, en enregistrant aussi les données géographiques et environnementales.

L'arbre sélectionné est repéré par une étiquette individuelle et sa position GPS est enregistrée avec précision.

Les données rassemblées dans les fiches d'identité ont été analysées statistiquement ; l'ADN extrait à partir de chaque échantillon de feuille a été utilisé au laboratoire du CRC afin d'obtenir un profil génotypique produit avec 182 marqueurs SNP.

L'information rassemblée sur les fiches d'enquête a été utilisée pour, d'une part comprendre la connaissance et la préférence des agriculteurs vis-à-vis du cacao, et d'autre part pour cerner la diversité morphologique du cacao cultivé dans la région.

- **Résultats**

2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru 13-17 November 2017

1. Analyse des données d'enquête

Les cacaoyers sélectionnés se voient octroyer différents noms par les agriculteurs. La majorité d'entre eux attribue à leur variété une origine « Criollo » (37%), qui est accordée dans la commune de Chambellan par 73% des personnes enquêtées. Il ressort de l'enquête que la production de fèves blanches ne soit pas un critère de choix, montrant que les agriculteurs ne font pas le lien entre « fèves blanches » et « Criollo ». Il est cependant répété par divers intervenants de la filière que l'avenir de la cacaoculture passe par l'exploitation de la variété « Criollo ».

Les critères de choix des cacaoyers par les agriculteurs reflètent leurs préoccupations, en premier lieu, la production des arbres : la densité de plantation des arbres est très faible (écartement de 5x6), en raison des autres cultures présentes, du non remplacement des arbres disparus et de la croissance excessive en hauteur. La taille des fruits et une maturation précoce apparaissent comme une nécessité pour assurer une bonne récolte.

La résistance à la sécheresse suscite une préoccupation majeure pour près de 70% des agriculteurs de Dame Marie : les données disponibles qui indiquent une pluviométrie annuelle de l'ordre de 1500 mm corroborent cette priorité. En revanche, la conjonction de ces conditions climatiques et de la faible densité de plantation fait que la résistance à la pourriture des cabosses n'est pas une priorité ressentie.

Les observations morphologiques recueillies par les équipes de terrain du Catholic Relief Services ont été analysées afin de comparer les caractéristiques de chaque arbre sélectionné, et détecter des accessions pouvant combiner des caractères potentiellement favorables à une amélioration de la production.

Des arbres remarquables, parce qu'ils produisaient plus de 30 cabosses ont été identifiés chez des exploitants de l'Anse d'Hainault et de Dame Marie. Des cacaoyers produisant des fruits de circonférence supérieure à 32 cm ou de longueur supérieure à 24 cm ont été repérés. Des cabosses contenant plus de 50 fèves ont aussi été prélevées.

La comparaison des accessions performantes pour ces quatre critères (nombre de fruits, longueur des fruits et circonférence, et nombre de fèves) a été entreprise. Six accessions cumulent deux critères favorables :

- CRS 2_138 et CRS 5_350 pour le nombre de fèves et la circonférence des fruits
- CRS 3_185 pour la circonférence des fruits et le nombre de fruits
- CRS 2_109, CRS 5_350 et CRS 5_403 pour la longueur et circonférence des fruits.

En revanche, aucune accession ne combine tous les caractères favorables: longueur du fruit et circonférence, nombre de fruits et de fèves. Il s'avère que seulement les individus CRS 1_30, 1_61, 2_109, 2_138, 3_246, 5_350 et 5_403 parmi les 14 qui avaient été identifiés comme différents par l'analyse multivariée des données quantitatives (Fig.2) ont été inclus dans la liste des meilleurs arbres.

2. Analyse des données génétiques

Les analyses ont été conduites sur les échantillons qui présentaient l'information la plus complète possible et présentant le moins de données alléliques manquantes : on a donc retenu un set de 177 marqueurs SNP pour étudier l'ADN de 361 arbres.

Les données alléliques manquantes n'ont pas dépassé 0.6% pour chaque arbre, et 0.3% pour chaque marqueur, ce qui conduit à seulement 1.3% de données manquantes totales.

2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru 13-17 November 2017

Le set de SNPs a été utilisé pour comparer les arbres prospectés à 499 arbres-référence du CRC. Dans ces conditions, l'identité totale avec une seule et unique accession, MATINA 2/8 a été obtenue pour 23 arbres provenant de toutes les communes prospectées.

Vingt-deux autres échantillons se sont avérés aussi très proches de Matina 2/8 : ils ne diffèrent que par un à cinq marqueurs, et sont aussi largement distribués.

Il a été montré que d'autres arbres échantillonnés étaient des duplicatas, mais se sont révélés des erreurs de manipulation ou d'enregistrement (par exemple CRS1_24 et 1_25, CRS1_122 et 1_125, ou CRS4_320 et 5_386 récoltés chez le même planteur par deux équipes différentes).

Une analyse phylogénique a été réalisée en utilisant le logiciel DARwin v.5 : celle-ci révèle que les arbres échantillonnés dans la région de la Grand 'Anse sont très voisins et peuvent être regroupés en trois clusters : les arbres équivalents à Matina 2/8, un cluster des arbres ayant une grande proximité avec cette origine, et le principal cluster regroupant des arbres qui se révèlent d'origines diverses (Fig.3). Cependant la proximité des individus entre eux est mise en évidence par la taille réduite des branches de l'arbre phylogénique entre les individus et entre les groupes d'individus.

Une analyse généalogique a été entreprise en utilisant le logiciel Structure : il existe une prépondérance d'arbres avec une hérédité provenant d'origine Amelonado soit totale soit hybride. Lorsqu'un seuil minimum de 80% est appliqué pour déterminer si un individu appartenait à un groupe, on a trouvé que 42.5% de l'ensemble des échantillons appartient au groupe Amelonado. A ce seuil, si on considère les arbres uniques, 34% d'entre eux sont des purs Amelonado. Les arbres de type Amelonado représentent 93.8% de tous les arbres génétiquement uniques de la région de la Grand' Anse. La comparaison de leur distribution selon les différentes communes, indique que Dame Marie et Les Irois comptent le plus haut pourcentage de pur Amelonado, tandis que c'est à Chambellan que se trouve en plus forte proportion les hybrides Amelonado.

Seul vingt-sept pourcent des échantillons possèdent plus de 10% d'hérédité Criollo. Quatorze d'entre eux dépassent 30%, mais sans excéder 50% : ce sont tout au plus ce qui peut être considéré comme un Trinitario, les autres ayant d'autres origines (Table 1). La répartition géographique des échantillons d'héritage Criollo ne montre aucune tendance (Fig. 4). La variété supplémentaire prélevée dans le jardin clonal de Marfranc s'est révélée un hybride avec un héritage provenant de Cacaoyers originaires des régions de Contamana et Nanay mais sans origine Criollo comme il a été aussi enregistré dans la fiche de données récoltées sur le terrain.

Il n'y a pas de lignées pures autres qu'Amelonado issues d'autres origines déterminées mais des mélanges d'origines : 55 hybrides ont au moins 10% d'origine Iquitos, 25 hybrides possédant au moins 10% d'origine Nanay, tous collectés sur la commune d'Anse d'Hainault. On retrouve aussi que 17 variétés ont au moins 10% d'origine Marañon, provenant tous de la commune de Dame Marie, et 22 variétés présentent au moins 10% d'origine Contamana.

La diversité des arbres collectés à Haïti a été comparée à celle des références de la collection du CRC. Les résultats montrent que le germplasm collecté dans la Grand' Anse est inclus dans la diversité génétique de référence (Fig.5).

2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru 13-17 November 2017

La comparaison entre les données regroupées du cacao Haïtien et les origines regroupées de l'ICGT ont montré que celui-ci se rapproche plutôt des types hybrides (Trinitario et Refractario) et Amelonado que des origines Haut-Amazoniennes et spécialement celle de Contamana. Il apparaît donc que le germplasma Haïtien se rapproche le plus des groupes Trinitario et Amelonado (Fig. 6).

Les Cacaoyers des quatre communes de la Grand' Anse ont une diversité génétique très similaire et ne sont pas significativement différents d'une commune à l'autre. (Table 2). Une analyse de variance moléculaire a montré une répartition de la variance génétique de 0% pour la commune, de 14% parmi les individus et de 86% au sein des individus. Cette distribution est non significative (Fig. 7).

Les corrélations entre distances génétiques et géographiques ont été testées mais se sont révélées non-significatives. Les autocorrélations spatiales n'ont pas montré de distribution spatiale significative de la diversité génétique à l'intérieur de chacune des quatre communes.

L'hétérozygotie de chaque arbre varie de 0.000 to 0.503, avec les arbres qui se sont révélés complètement homozygotes (Amelonado et identiques au Matina 2/8) ou complètement hétérozygotes tels les arbres pouvant être considérés comme Trinitarios.

3. Core collection

Un sous-groupe de 306 échantillons, caractérisé moléculairement avec 177 SNPs, a été utilisé pour déterminer une « core collection » basée sur l'information génétique moléculaire du cacao de la Grand' Anse. Cette collection composée de 91 variétés (Table 3) a été déterminée par une méthode de maximisation (M strategy) heuristique et non-heuristique développée avec le programme PowerCore v 1.0 (National Institute of Agricultural Biotechnology 2006). La collection inclut la plante du jardin clonal de Marfranc, 7 variétés de la commune de Chambellan, 15 des Irois, 17 d'Hanse d'Hainault et 51 de Dame-Marie. Il en est résulté une collection non contrainte contenant :

- (i) 5 variétés (CRS 2_109, CRS 3_217, CRS 3_242, CRS 3_246 et CRS 5_411) uniques pour les résultats de l'analyse multivariée des données quantitatives des fruits
- (ii) 3 variétés (CRS 3_173, CRS 4_312 et CRS 5_376) uniques pour les résultats de l'analyse multivariée des données morphologiques qualitatives des fruits et de la pilosité des feuilles
- (iii) 5 variétés (CRS 1_22, CRS 1_67, CRS 2_133, CRS 2_144 et CRS 3_202) qui se classent parmi celles produisant le plus de fèves
- (iv) 2 variétés (CRS 2_109 et CRS 4_268) produisant les cabosses à plus fort diamètre
- (v) 3 variétés (CRS 2_86, CRS 2_122 et CRS 3_231) qui produisent le plus grand nombre de fruits.

Cette «core collection» a été comparée à l'ensemble des 306 échantillons de départ en utilisant les 177 marqueurs SNPs, et on a pu déterminer que :

- (i) Il n'y a pas d'allèle unique dans l'un ou l'autre set,
- (ii) la distance génétique non biaisée est de 0.000,
- (iii) l'analyse de la variance moléculaire ne montre pas d'effet de différence significative entre cette collection et l'ensemble des échantillons.
- (iv) Tous ces résultats montrent que la «core collection» représente parfaitement la diversité génétique des variétés paysannes de la Grand' Anse

2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru
13-17 November 2017

4.6 Conclusion et recommandations

Les Cacaoyers de la Grand' Anse présentent une diversité morphologique et génétique limitée et montrent une forte prépondérance d'arbres avec une origine Amelonado et de nombreux arbres dupliqués. Nos résultats concordent avec les informations historiques du Cacao de Haïti : les introductions successives au cours des siècles, les programmes internationaux d'appui à la filière ont induit un remplacement des types ancestraux (Criollo local) par des types hybrides et/ou par du matériel sélectionné qui a été distribué (c'est sans doute le cas du Matina 2/8). Les effectifs retenus dans les quatre communes prospectées ont fourni des données en quantité suffisantes pour réaliser des analyses comparatives, et il a été trouvé que les communes présentent une diversité génétique et une structure génétique spatiale similaires. Des arbres uniques, performants et avec un héritage ayant une part importante d'origine Criollo ont été identifiés grâce à l'information morphologique et génétique.

Des actions et initiatives sont recommandées:

1. Une "genebank" incluant la "core collection" devrait être établie. De nouvelles introductions devraient être envisagées pour compléter la diversité du germplasma qui présente des lacunes révélées par cette étude.
2. Des jardins clonaux devraient être établis en différentes régions d'Haïti, en se fondant sur les génotypes identifiés comme supérieurs dans cette étude, afin de déterminer le potentiel de rendement, les qualités organoleptiques, l'auto-incompatibilité et autres traits potentiellement intéressants. Des variétés hautement productives pourraient aussi compléter ces collections. Ceci permettrait d'identifier les accessions les plus adaptées aux différentes régions du pays.
3. L'organisation d'un système de multiplication et de distribution de matériel élite devra être pensée afin de faire bénéficier les planteurs en termes de récolte et de qualité.
4. Un programme de croisements devrait être mis en place pour améliorer le potentiel de productivité dans les années à venir. Les variétés homozygotes devraient être maintenues en tant que lignées de croisement. Les schémas de croisements devraient exploiter l'hétérosis présente chez le cacaoyer. De nouvelles introductions devraient être envisagées afin de combler le manque de diversité.
5. les génotypes ayant révélé un héritage important d'ancêtre Criollo ou des aspects morphologiques de Criollo devraient être évalués pour leurs qualités sensorielles et utilisés afin d'établir une filière de cacao fin. Un programme de croisements entre plantes de type Criollo devrait être poursuivi pour en améliorer la pureté.
6. De nouvelles prospections devraient être conduites dans tout le pays afin d'identifier des arbres de qualité supérieure, y compris de type Criollo et de caractéristiques de fruits différentes de celles retrouvées dans cette étude.

2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru
13-17 November 2017

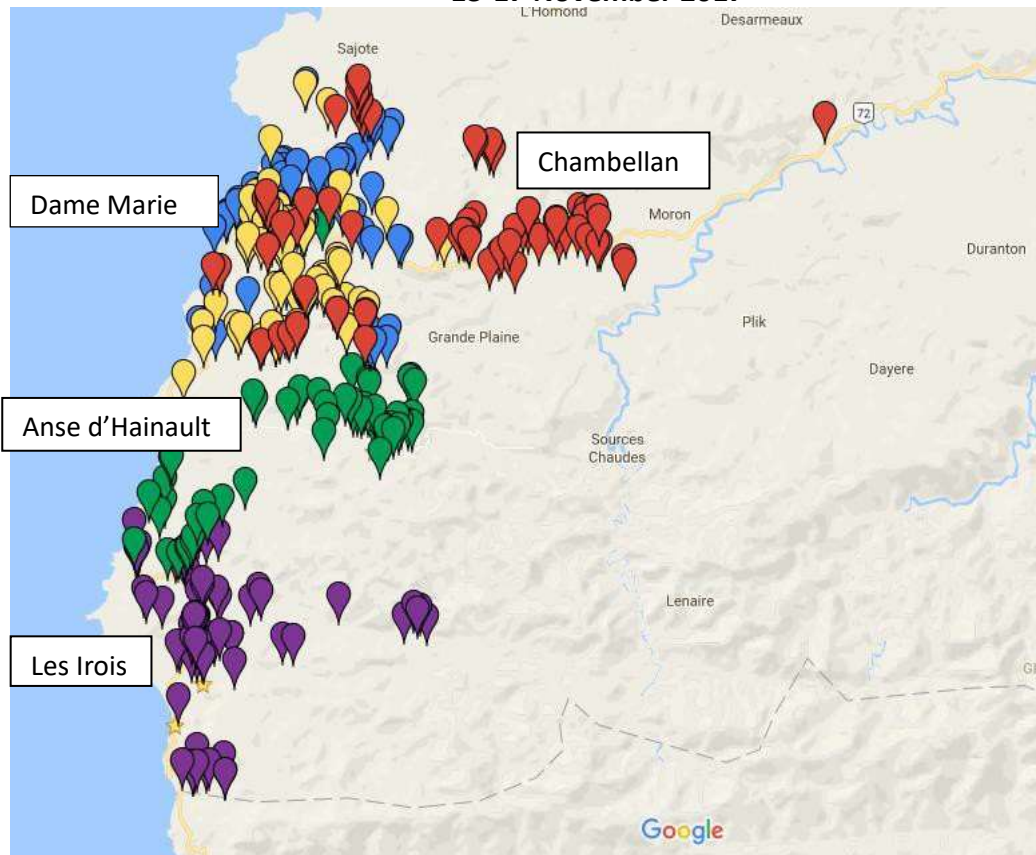
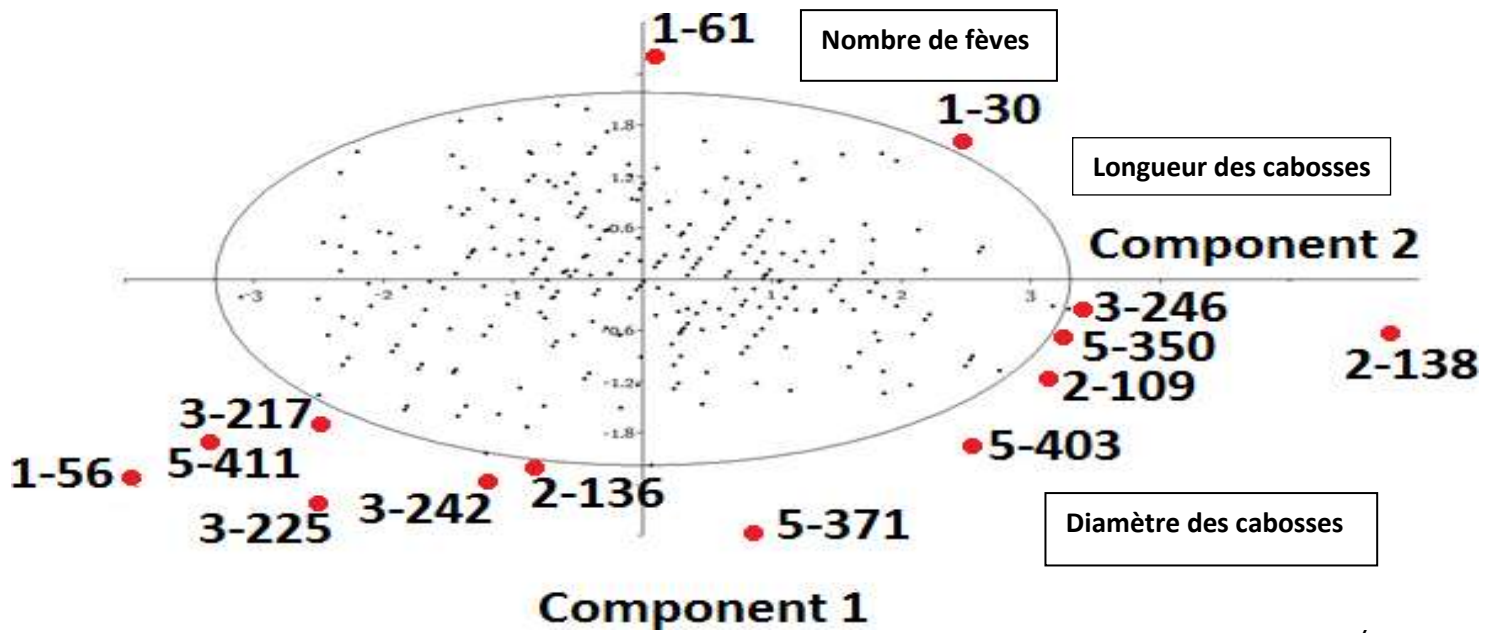


Fig.1 Répartition géographique des échantillons collectés

Fig. 2 APC des données phénotypiques de la productivité



2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru
13-17 November 2017

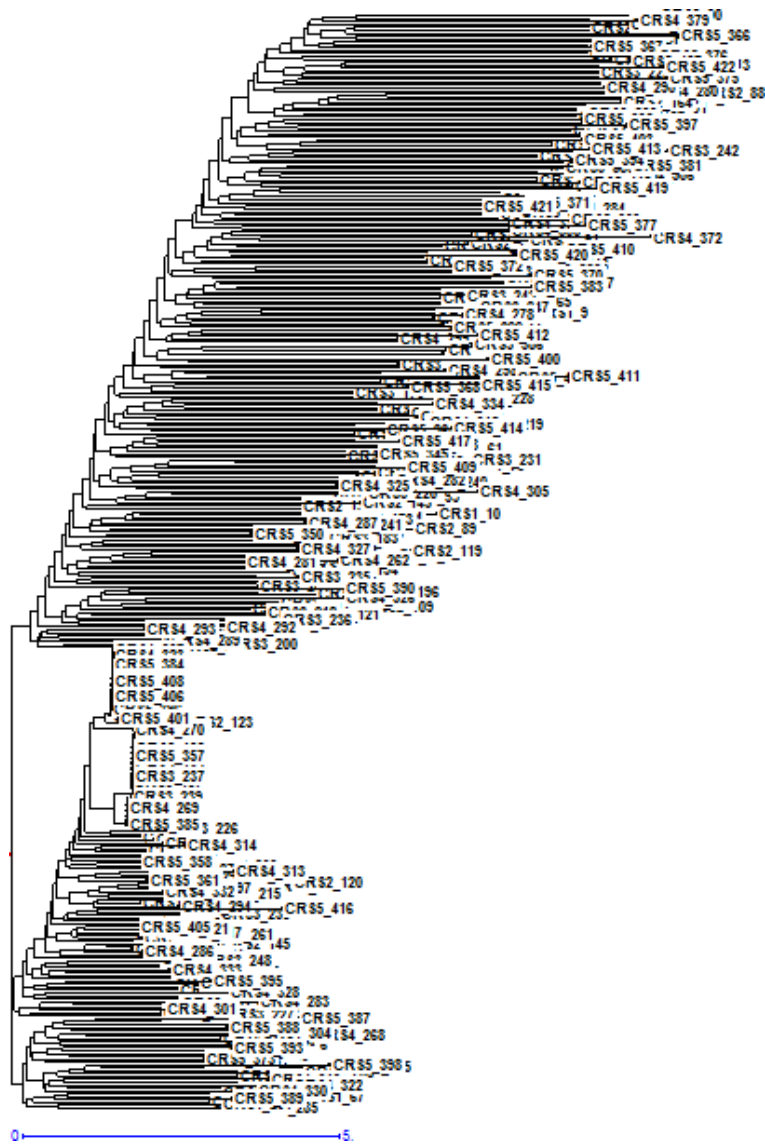


Fig. 3 Arbre phylogénique de tous les arbres génotypés de la Grand' Anse.

**2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru
13-17 November 2017**

Diagramme obtenu avec le programme DARwin (Perrier and Jacquemoud-Collet 2006)

	Commune	Latitude	Longitude	Localité	% Criollo
CRS3_201	Dame Marie	18.51210	-74.41522	Fondin	49.0
CRS5_392	Dame Marie	18.52776	-74.40029	Mandrou	37.2
CRS2_144	Anse d'Hainault	18.49063	-74.38364	Zaire	36.6
CRS2_108	Anse d'Hainault	18.48359	-74.36283	K- fou Didié	35.9
CRS1_56	Les Irois	18.41401	-74.44079	Matador	35.6
CRS2_93	Anse d'Hainault	18.45636	-74.43721	Baroyette (Derrière 4ème)	35.2
CRS2_110	Anse d'Hainault	18.48377	-74.36548	Madan Michel	33.7
CRS5_360	Chambellan	18.54006	-74.33009	Hainault	33.6
CRS1_54	Les Irois	18.44065	-74.44493	Mandrou	33.4
CRS5_366	Chambellan	18.55038	-74.30967	Chambellan	33.0
CRS5_376	Dame Marie	18.55840	-74.41426	Plaine Matin	32.3
CRS3_193	Dame Marie	18.55948	-74.41278	Sous Breton	31.9
CRS3_172	Dame Marie	x	x	Rue Frere Portier	31.5
CRS2_139	Dame Marie	18.48223	-74.36631	Plaine Martin	29.9

Table 1. Arbres révélant au moins 30% d'ascendance Criollo.

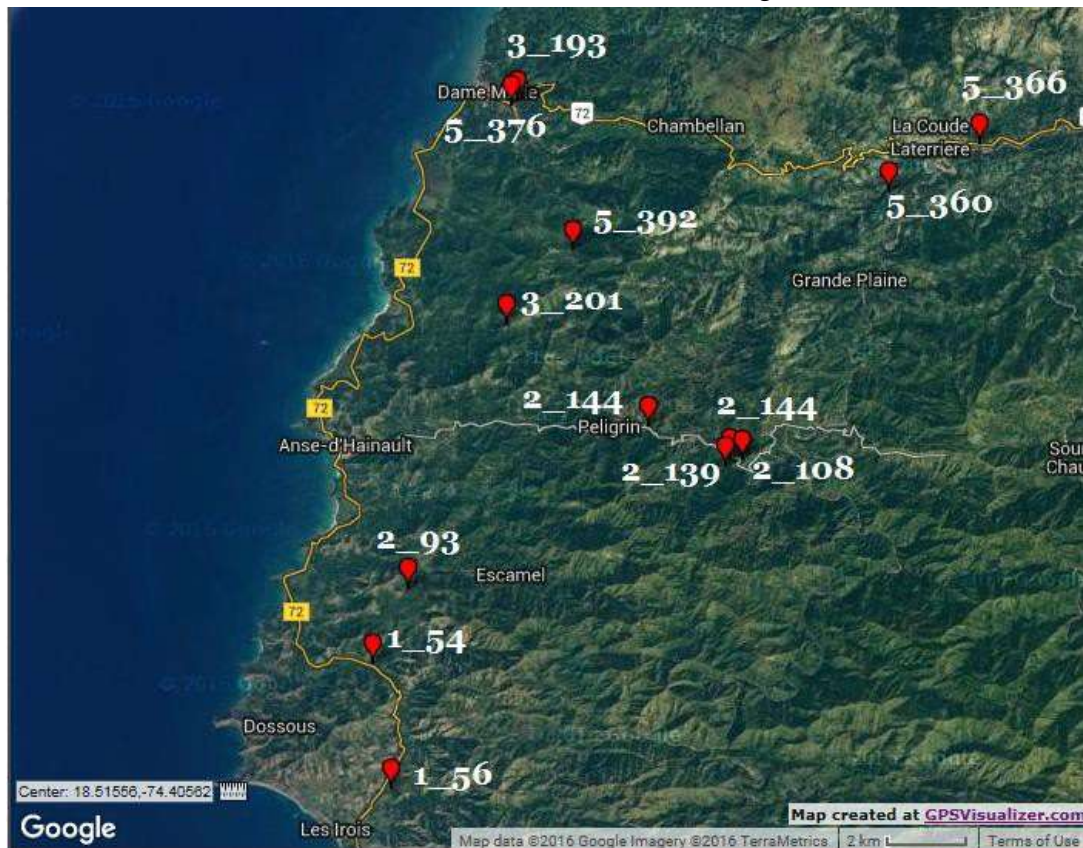


Fig. 4 Positionnement géographique des arbres d'hérédité Criollo.

Passeport Cacaoyer & Données de Caractérisation

Collecteurs:

	/
--	---

Cat.	Rubrique	Données récoltées
A: Origine et Localisation		
A1	Nom agriculteur	
A2	Date de collection	Jour: Mois: Année:
A3	Adresse/Localité	
A4	Coordonnées GPS	Latitude : Longitude:
B: Caractéristiques		
B1	Référence identification	
B2	Variété	<input type="checkbox"/> Criollo <input type="checkbox"/> Indigène <input type="checkbox"/> Trinitario <input type="checkbox"/> Forastero <input type="checkbox"/> Hybride <input type="checkbox"/> Inconnu <input type="checkbox"/> Autre:
B3	Critère(s) de choix de l'agriculteur Si l'arbre non sélectionné par l'agriculteur, précisez par qui: <input type="checkbox"/> Collecteur <input type="checkbox"/> Chercheur <input type="checkbox"/> Autre:	<input type="checkbox"/> Précoce récolte <input type="checkbox"/> Production <input type="checkbox"/> Vigueur <input type="checkbox"/> Petite taille <input type="checkbox"/> Grande taille <input type="checkbox"/> Résistance sécheresse <input type="checkbox"/> Résistant pourriture <input type="checkbox"/> Résistant le animal nuisible <input type="checkbox"/> Facile à récolter <input type="checkbox"/> Maturation précoce des fruits <input type="checkbox"/> Gros fruits <input type="checkbox"/> Ecorce épaisse <input type="checkbox"/> Ecorce fine <input type="checkbox"/> Grosses fèves <input type="checkbox"/> Fèves blanches <input type="checkbox"/> Fèves violette <input type="checkbox"/> Autre:
C: Description du site		
C1	Altitude (m)	
C2	Habitat	<input type="checkbox"/> Cultivé <input type="checkbox"/> Semi-cultivé <input type="checkbox"/> Forêt <input type="checkbox"/> Prairie <input type="checkbox"/> Savane <input type="checkbox"/> Bas-fond <input type="checkbox"/> Végétation éparse <input type="checkbox"/> Rivière/Ruisseau <input type="checkbox"/> Abandonné <input type="checkbox"/> Remblai
C3	Terrain	<input type="checkbox"/> Montagne <input type="checkbox"/> Vallée <input type="checkbox"/> Plaine <input type="checkbox"/> Rivage <input type="checkbox"/> Rocheux <input type="checkbox"/> Pierreux <input type="checkbox"/> Sableux <input type="checkbox"/> Boueux <input type="checkbox"/> Plat <input type="checkbox"/> Varié <input type="checkbox"/> Gradué <input type="checkbox"/> Pente douce <input type="checkbox"/> Pente abrupte
C4	Ombrage	<input type="checkbox"/> Absent <input type="checkbox"/> Léger <input type="checkbox"/> Dense
D: Vigueur de l'arbre, Productivité & Description Maladies		
D1	Number of troncs	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> >5
D2	Circonférence du tronc (cm) à x cm du sol	À x = 25 cm:
		À x = 135 cm:
D3	Intensité de floraison	<input type="checkbox"/> Absente <input type="checkbox"/> Légère <input type="checkbox"/> Modérée <input type="checkbox"/> Intense
D4	Nombre de fruits adultes	<input type="checkbox"/> Aucun <input type="checkbox"/> 1-5 <input type="checkbox"/> 6-10 <input type="checkbox"/> 11-20 <input type="checkbox"/> 21-30 <input type="checkbox"/> >30
D5	Nombre de fruits adultes avec pourriture	<input type="checkbox"/> Aucun <input type="checkbox"/> 1-5 <input type="checkbox"/> 6-10 <input type="checkbox"/> 11-20 <input type="checkbox"/> 21-30 <input type="checkbox"/> >30

Passeport Cacaoyer & Données de Caractérisation (suite)

Cat.	Rubrique	Données récoltées
------	----------	-------------------

**2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru
13-17 November 2017**

E: Caractéristiques des feuilles												
E1	Pousses: Pigmentation :	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Anthocyanine: <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Modérée <input type="checkbox"/> Intense										
E2	Limbe:pubescence face inférieure	<input type="checkbox"/> Absente <input type="checkbox"/> Légère <input type="checkbox"/> Modérée <input type="checkbox"/> Dense										
F: Caractéristiques des fleurs												
F1	Pédicelle: pigmentation	<input type="checkbox"/> Vert/blanc <input type="checkbox"/> Rose <input type="checkbox"/> Jaune <input type="checkbox"/> Rouge <input type="checkbox"/> Rouge foncé										
F2	Sépale: pigmentation	<input type="checkbox"/> Vert/blanc <input type="checkbox"/> Rose <input type="checkbox"/> Jaune <input type="checkbox"/> Rouge <input type="checkbox"/> Rouge foncé										
G: Caractéristiques des fruits												
G1	Couleur des fruits adultes	Crête: <input type="checkbox"/> Blanc <input type="checkbox"/> Vert clair <input type="checkbox"/> Vert foncé <input type="checkbox"/> Rouge <input type="checkbox"/> Rouge foncé Sillon: <input type="checkbox"/> Blanc <input type="checkbox"/> Vert clair <input type="checkbox"/> Vert foncé <input type="checkbox"/> Rouge <input type="checkbox"/> Rouge foncé										
G2	Forme	<input type="checkbox"/> Oblongue <input type="checkbox"/> Elliptique <input type="checkbox"/> Ovale <input type="checkbox"/> Sphérique <input type="checkbox"/> Aplatie										
G3	Constriction basale	<input type="checkbox"/> Absente <input type="checkbox"/> Légère <input type="checkbox"/> Modérée <input type="checkbox"/> Forte										
G4	Apex	<input type="checkbox"/> Atténué <input type="checkbox"/> Pointu <input type="checkbox"/> Obtus <input type="checkbox"/> Arrondi <input type="checkbox"/> Tétine <input type="checkbox"/> En retrait <input type="checkbox"/> Incurvé										
G5	Rugosité	<input type="checkbox"/> Absente <input type="checkbox"/> Légère <input type="checkbox"/> Modérée <input type="checkbox"/> Forte										
G6	Profondeur des sillons	<input type="checkbox"/> Absente <input type="checkbox"/> Légère <input type="checkbox"/> Modérée <input type="checkbox"/> Forte										
		Fruit 1	Fruit 2	Fruit 3	Fruit 4	Fruit 5	Moyenne					
G7	Longueur fruit(cm)											
G8	Diamètre fruit(cm)											
G9	Epaisseur péricarpe (cm)											
G10	Nombre de graines développées											
H: Caractéristiques des graines												
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Mode
H1	Forme des graines: OB=oblongue EL=elliptique OV=ovale											
H2	Couleur cotylédons: B=blanc C=crème V=violet P=pourpre T=tacheté											

Annexe 1 : Fiche d'enquête

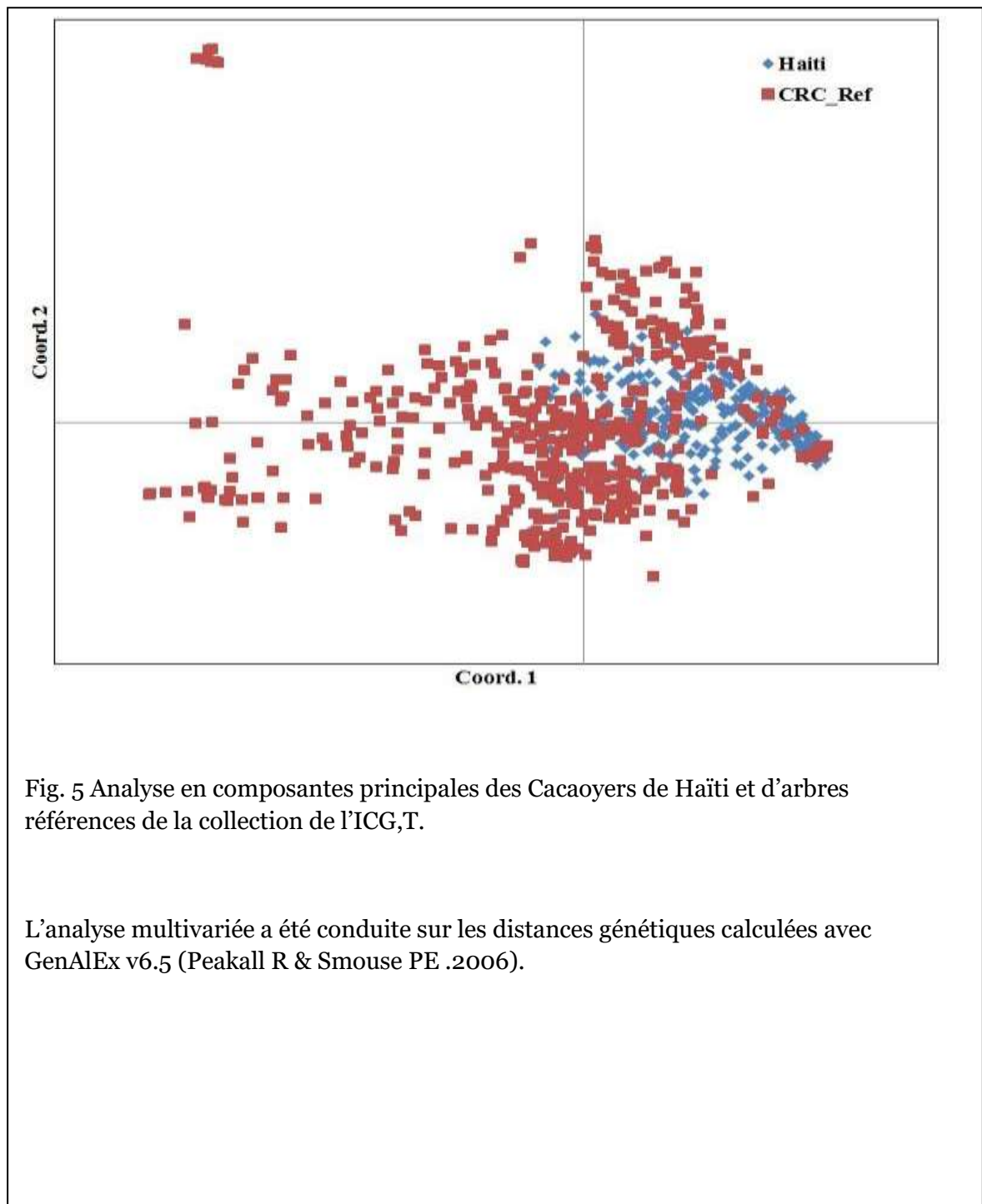


Fig. 5 Analyse en composantes principales des Cacaoyers de Haïti et d'arbres références de la collection de l'ICG,T.

L'analyse multivariée a été conduite sur les distances génétiques calculées avec GenAlEx v6.5 (Peakall R & Smouse PE .2006).

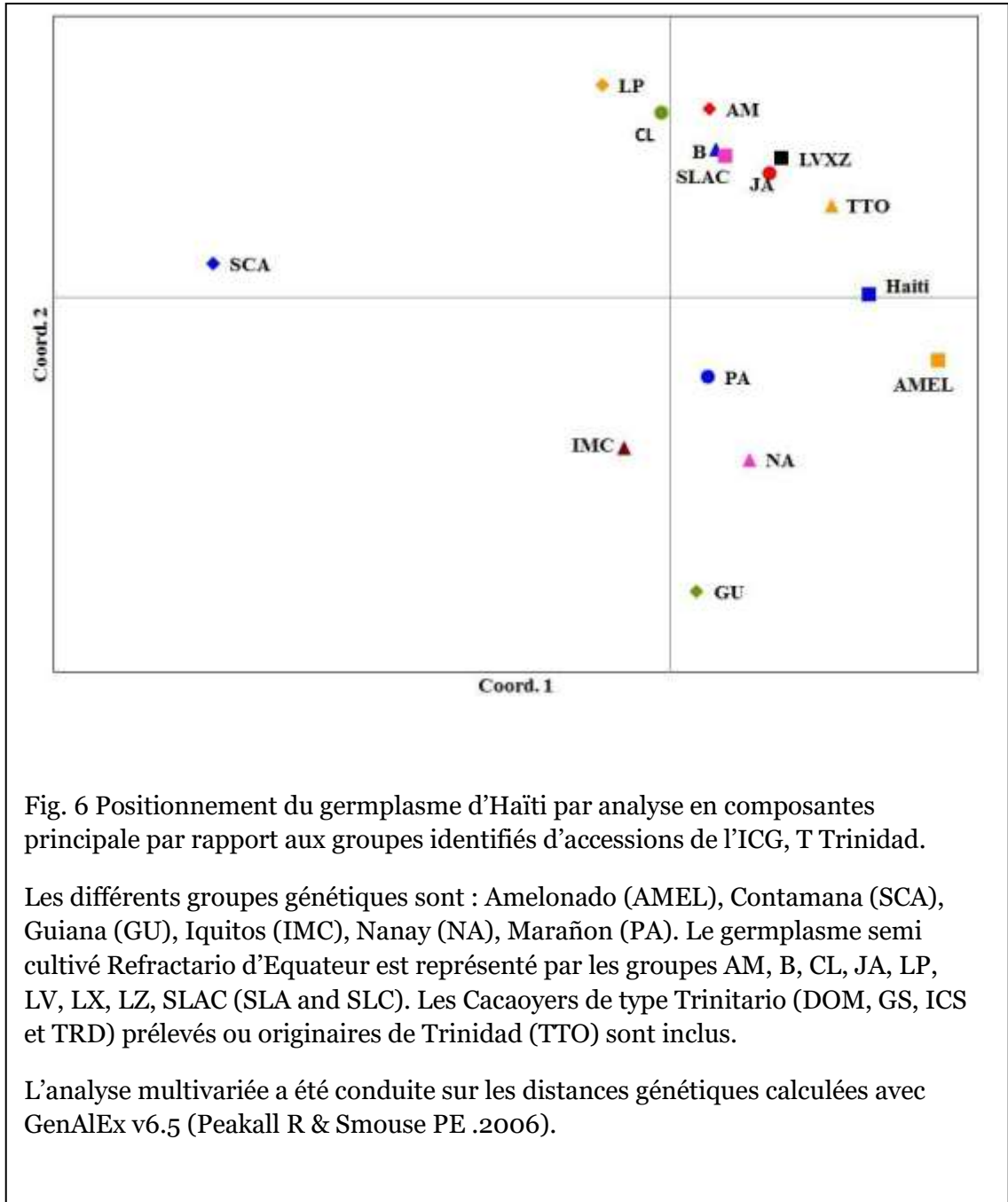


Table 2. Comparaison de distance des populations au sein des quatre communes de la Grande Anse.

	Anse d'Hainault	Chambellan	Dame Marie	Les Irois
Anse d'Hainault	-	0.371	0.170	0.180
Chambellan	0.000	-	0.112	0.150
Dame Marie	0.001	0.002	-	0.073
Les Irois	0.001	0.002	0.001	-

Les probabilités sont présentées au-dessus de la diagonale. Les valeurs de distances estimées D_{est} sont au-dessous de la diagonale. Estimations calculées à partir de 999 permutations avec GenAlEx v6.5 (Peakall & Smouse 2006).

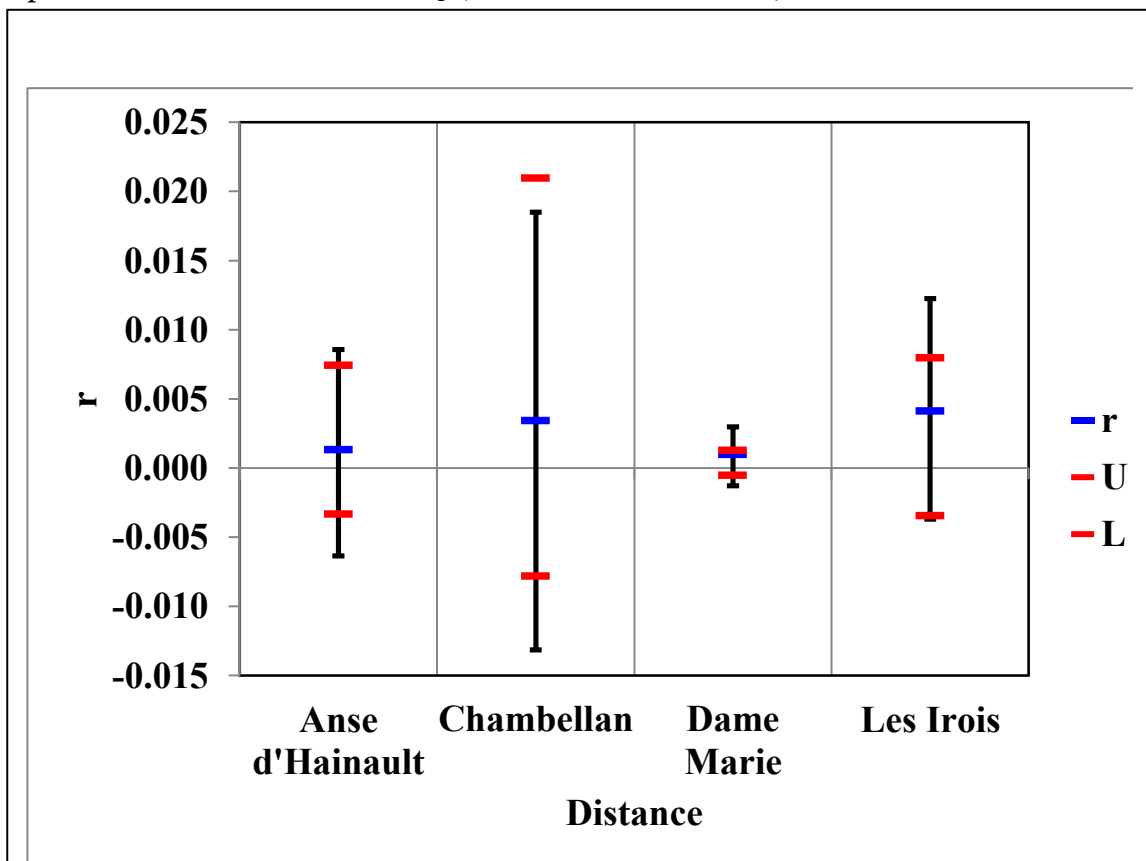


Fig. 7 Analyse d'autocorrélation spatiale des Cacaoyers dans les quatre communes de la Grande Anse.

r, coefficient d'autocorrélation calculé à partir de 1000 itérations; U et L représentent l'intervalle de confiance à 95% pour les valeurs de r.

Analyses réalisées sur les distances génétiques linéaires standardisées et des distances géographiques transformées en unités log avec GenAlEx v6.5 (Peakall & Smouse 2006)

**2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru
13-17 November 2017**

Table 3. Germplasm selection from the varieties prospected in Grand'Anse.

Code	Commune	Localité	Latitude	Longitude
CRS 1_07	Les Irois	Matador	18.41922	-74.44038
CRS 1_10	Les Irois	Matador	18.41888	-74.44003
CRS 1_13	Les Irois	Alas	18.41242	-74.42686
CRS 1_22	Les Irois	Mandrou	18.44062	-74.44406
CRS 1_26	Les Irois	Mandrou	18.44099	-74.46133
CRS 1_31	Les Irois	Mandrou	18.45041	-74.46253
CRS 1_42	Les Irois	Galette	18.42084	-74.35942
CRS 1_43	Les Irois	Galette	18.42264	-74.36105
CRS 1_48	Les Irois	Matador	18.42764	-74.43803
CRS 1_52	Les Irois	Matador	18.43106	-74.43753
CRS 1_64	Les Irois	Lexis 4ème Section	18.44504	-74.43614
CRS 1_65	Les Irois	Labite	18.42587	-74.45837
CRS 1_66	Les Irois	Labite	18.42757	-74.45898
CRS 1_67	Les Irois	Bel Air	18.40370	-74.42608
CRS 1_71	Les Irois	Matador	18.42918	-74.43787
CRS 2_100	Anse d'Hainault	Debouke	18.49206	-74.40345
CRS 2_104	Anse d'Hainault	Barbino	18.49868	-74.36189
CRS 2_106	Anse d'Hainault	Barbino	18.49678	-74.36060
CRS 2_109	Anse d'Hainault	Madan Michel	18.48282	-74.36151
CRS 2_110	Anse d'Hainault	Madan Michel	18.48377	-74.36548
CRS 2_118	Anse d'Hainault	Fleche	18.49793	-74.37765
CRS 2_122	Anse d'Hainault	Ade (Sicard)	18.48879	-74.37901

**2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru
13-17 November 2017**

CRS 2_133	Anse d'Hainault	Durocher	18.46342	-74.42219
CRS 2_141	Anse d'Hainault	Boucan	18.47373	-74.37325
CRS 2_144	Anse d'Hainault	Zaïre	18.49063	-74.38364
CRS 2_146	Anse d'Hainault	Zaïre	18.49039	-74.40648
CRS 2_147	Anse d'Hainault	Debouke	18.49149	-74.41840
CRS 2_148	Anse d'Hainault	Franklin	18.49316	-74.41946
CRS 2_157	Dame Marie	Rue Frère Portier	18.55019	-74.39414
CRS 2_160	Dame Marie	Passé Barbée	18.55058	-74.41153
CRS 2_86	Anse d'Hainault	Mandrou	18.43955	-74.44646
CRS 2_93	Anse d'Hainault	Baroyette (Derrière 4ème)	18.45636	-74.43721
CRS 2_95	Anse d'Hainault	Nan Pou	18.45231	-74.43565
CRS 2_97	Anse d'Hainault	Fidèle	18.48927	-74.39307
CRS 3_173	Dame Marie	Deremont	18.53415	-74.43257
CRS 3_181	Dame Marie	Lebas	18.57033	-74.40895
CRS 3_183	Dame Marie	Lebas	18.56903	-74.41193
CRS 3_184	Dame Marie	Lebas	18.56572	-74.40860
CRS 3_192	Dame Marie	Bel- Air	18.55387	-74.41290
CRS 3_193	Dame Marie	Sous Breton	18.55948	-74.41278
CRS 3_196	Dame Marie	Divino	18.55002	-74.40002
CRS 3_201	Dame Marie	Fondin	18.51210	-74.41522
CRS 3_202	Dame Marie	Docan	18.55398	-74.38220
CRS 3_207	Dame Marie	St Hilaire	18.56828	-74.38942
CRS 3_208	Dame Marie	Rabas	18.56495	-74.39032
CRS 3_217	Dame Marie	La Hatte	18.58525	-74.37560
CRS 3_218	Dame Marie	Germont	18.58672	-74.37733

**2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru
13-17 November 2017**

CRS 3_226	Dame Marie	Rousselin	18.55315	-74.42903
CRS 3_231	Dame Marie	Rue Independance	18.56048	-74.41722
CRS 3_234	Dame Marie	Rousselin	18.55660	-74.42525
CRS 3_242	Dame Marie	Tapona	18.51010	-74.37717
CRS 3_246	Dame Marie	La Source	18.51948	-74.37845
CRS 4_256	Dame Marie	Bambounois		
CRS 4_257	Dame Marie	Mayala		
CRS 4_268	Dame Marie	Glasi Dalié	18.51909	-74.38457
CRS 4_276	Dame Marie	Relann	18.55569	-74.40995
CRS 4_278	Dame Marie	Nan Bonom	18.54889	-74.41083
CRS 4_279	Dame Marie	Delann	18.55259	-74.40216
CRS 4_285	Dame Marie	Divergé	18.54310	-74.41357
CRS 4_288	Dame Marie	Fonden		
CRS 4_290	Dame Marie	Fonden	18.54264	-74.42119
CRS 4_296	Dame Marie	Divino	18.51394	-74.42457
CRS 4_298	Dame Marie	Nan Bernard	18.51444	-74.40761
CRS 4_303	Dame Marie	Merise	18.53708	-74.38768
CRS 4_304	Dame Marie	Nan Bonom	18.54908	-74.40560
CRS 4_305	Dame Marie	Ravine Sèche	18.55090	-74.40723
CRS 4_306	Dame Marie	Passe Barbé	18.54745	-74.40108
CRS 4_310	Dame Marie	Banbounois	18.54224	-74.40808
CRS 4_312	Dame Marie	Mandou	18.52581	-74.40057
CRS 4_317	Dame Marie	Fonden	18.51152	-74.41096
CRS 5_358	Chambellan	Julie	18.55271	-74.33887
CRS 5_360	Chambellan	Hainault	18.54006	-74.33009

**2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru
13-17 November 2017**

CRS 5_362	Chambellan	Hainault	18.54099	-74.32906
CRS 5_366	Chambellan	Chambellan	18.55038	-74.30967
CRS 5_369	Chambellan	Lavalette	18.54777	-74.30143
CRS 5_370	Chambellan	Grand Fond	18.54526	-74.29797
CRS 5_375	Dame Marie	Dame Marie	18.55737	-74.41520
CRS 5_376	Dame Marie	Plaine Matin	18.55840	-74.41426
CRS 5_377	Dame Marie	Plaine Matin	18.55516	-74.41400
CRS 5_382	Dame Marie	Tapona	18.51118	-74.37836
CRS 5_386	Dame Marie	Fondin	18.51027	-74.41629
CRS 5_388	Dame Marie	Fondin	18.51294	-74.40643
CRS 5_390	Dame Marie	Bariadelle	18.53505	-74.43163
CRS 5_392	Dame Marie	Mandrou	18.52776	-74.40029
CRS 5_409	Chambellan	Dejean	18.55463	-74.29458
CRS 5_411	Dame Marie	Docan	18.55691	-74.39172
CRS 5_412	Dame Marie	Docan	18.55712	-74.40024
CRS 5_414	Dame Marie	Germont	18.58817	-74.38908
CRS 5_415	Dame Marie	Germont	18.58628	-74.37951
CRS 5_418	Dame Marie	Maturen	18.59376	-74.38049
CRS 5_422	Marfranc	Marfranc	18.58553	-74.21149