

"Improving the profitability of small and medium-sized farms : the principal key to a global sustainable cocoa economy, 2012/10/15-20, Yaoundé, Cameroun.

<http://www.copal-cpa.org/icrc.php>

**Analyse spatio-temporelle de la progression du *Cacao Swollen Shoot Virus*  
à l'échelle de parcelles cacaoyères**

ORO Franck, MULLER Emmanuelle, BONNOT François, DUFOUR Bernard, WEGBE Komlan,  
CILAS Christian

Résumé :

La maladie du Cacao Swollen Shoot Virus (CSSV) n'existe pour le moment que dans quelques régions d'Afrique de l'Ouest, mais sa progression récente, notamment en Côte d'Ivoire, peut faire craindre une grave épidémie dans tout le continent africain. Les méthodes d'éradication, avec l'arrachage des zones malades, n'a pas donné les résultats escomptés, et on assiste actuellement à des ré-émergences dans les premières zones atteintes et des émergences dans de nouvelles zones de production. Par ailleurs, aucun matériel génétique totalement résistant n'a été mis en évidence pour le moment. Face à ces constats, il est nécessaire de bien comprendre les mécanismes de progression de cette maladie à l'échelle des parcelles et des paysages dans l'objectif de trouver des méthodes pouvant ralentir les épidémies. Dans cette perspective, trois parcelles cacaoyères avaient été installées dans une zone atteinte à Héhéti (Togo) : après éradication de la maladie, arrachage de tous les cacaoyers, nettoyage des parcelles, des cacaoyers moins sensibles à la maladie ont été installés. Chacune des trois parcelles avait par ailleurs été entourée de barrières constituées de caféiers. Vingt ans après l'installation de ces parcelles, un repérage des cacaoyers sains, malades et morts a été effectué, d'abord en 2008, puis en 2009. L'analyse des données avec l'utilisation des processus ponctuels (fonction de Ripley) et la méthode du « Join Count Analysis » a permis de confirmer le caractère très agrégé de cette maladie à l'échelle des parcelles. La progression de la maladie entre les deux années d'observation a été d'autant plus rapide que le nombre d'arbres atteints en première année était important. La mise en place de barrières pour freiner la progression de la maladie semble toutefois effective : 20 ans après l'installation des parcelles, la parcelle dont les barrières étaient intactes avait encore plus de la moitié de ces arbres productifs. L'adoption de matériel végétal plus résistant et la mise au point de systèmes agroforestiers appropriés avec l'utilisation systématique de barrières devraient donc permettre de ralentir la progression de cette maladie dans les zones atteintes.

Mots clés: CSSV, épidémiologie, statistique spatiale, Togo.

## Introduction

La maladie du swollen shoot est due à un virus de la famille des badnavirus le *Cocoa Swollen Shoot Virus* (CSSV). Cette maladie qui a été découverte au Ghana par Posnette en 1922 et au Togo en 1949 par Meiffren constitue aujourd'hui une menace sérieuse pour la cacaoyère en d'Afrique où plus de 70% du tonnage mondial est produit.

Cette maladie, restée longtemps circonscrite sur la zone du Ghana et du sud Togo, connaît actuellement une forte expansion. En Côte d'Ivoire de nombreuses zones sont atteintes depuis les années 2000, et Litimé, principale zone de production du Togo est atteinte depuis la fin des années 1990 (Cilas et al, 2005).

La répartition spatiale de la maladie a été encore peu étudiée. Contrairement aux cultures annuelles, les cultures pérennes nécessitent des expérimentations longues pour un suivi satisfaisant (Thresh, 1974). De plus le virus est semi-persistant et se répand lentement dans les parcelles. Ces insuffisances concernant la connaissance du mode de propagation ont été un des facteurs des échecs des tentatives d'éradication (Thresh *et al.*, 1988).

Selon leur mode de propagation, les épidémies des viroses peuvent être classées en deux groupes : les viroses à propagation simple et les viroses à propagation composée (Thresh, 1974). Les viroses à propagation simple admettent une seule source d'inoculum et il n'y a pas de contamination de plante à plante. Ce type de virose a une dispersion généralement aléatoire. Contrairement à cela, les viroses à propagation composée ont deux sources d'inoculum: une source primaire en dehors des cultures et une source secondaire dans les cultures avec une contamination de plante à plante. Connaître le mode de dispersion de la maladie du Swollen Shoot du cacaoyer à l'échelle de la parcelle peut contribuer à mettre au point des méthodes de lutte adaptées et efficaces.

Le swollen shoot est transmis par des plusieurs espèces de cochenille : *Formicococcus njalensis* (Laing), *Pseudococcus longispinus*, *Pseudococcus hargreavesi* (Laing) *Planococcus kenyae*, *Planococcus citri*, et *Ferrisia virgata* (Cockerell) (Dufour, 1991). Ces insectes se déplacent lentement, mais peuvent être transportés par plusieurs espèces de fourmis.

Pour mieux comprendre le développement spatio-temporel du swollen shoot, trois parcelles ré-infestées ont été suivies. Les processus de réinfestation sont étudiées dans des parcelles replantées avec du matériel génétique tolérant. Il s'agit donc d'établir des cartes permettant de mieux comprendre le développement spatial de la maladie dans le temps.

## Matériel et méthodes

### Matériel végétal et observations

Les trois parcelles étudiées ont été installées dans une ancienne zone malade après arrachage de tous les cacaoyers et nettoyage complet de la parcelle. Le matériel végétal, installé en 1989, était constitué de trois croisements tolérants au CSSV (Cilas et al, 2008):

IFC 5 x IMC 67, T 12/5 x IMC 67, T 20/21 x IMC 67

Chaque parcelle a été entourée de 3 rangées de caféier robusta afin de constituer des barrières limitant l'introduction de cochenilles chargées en virus.

En 2008, une inspection des parcelles a été organisée et un protocole d'observation a démarré. Chaque arbre a été observé pour déterminer son statut : 'sain', 'malade' ou 'mort'. Par ailleurs, les coordonnées (x, y) de chacun de ces arbres a été enregistré de façon à pouvoir réaliser des cartographie des différents états ('sain', 'malade' ou 'mort') pour chacune des trois parcelles.

Les mêmes observations ont été réalisées en 2009 de façon à étudier la dynamique de la maladie.

### Analyses statistiques

La dynamique de la maladie a été étudiée en examinant les matrices de transition. Une matrice de transition est une matrice carré décrivant la probabilité de passer d'un stade à un autre avec, sur la diagonale, les probabilités de rester dans le même état. Dans le cas du CSSV, un arbre sain peut rester sain, peut devenir malade ou peut devenir mort en une année ; un arbre malade peut rester malade ou peut devenir mort ; un arbre mort ne peut que

rester mort, c'est ce qu'on appelle un état absorbant. Ces matrices de transition sont données pour chacune des trois parcelles.

Dans le cadre des approches spatiales, la fonction de Ripley a d'abord été utilisée pour décrire le mode de dispersion de la maladie du Swollen Shoot du cacaoyer. La fonction de Ripley a été développée à l'origine pour caractériser la structure spatiale des couverts forestiers (Ripley, 1976; Ripley, 1977). Cette fonction permet de caractériser la structure spatiale d'un ensemble de points à différentes échelles et aussi de comparer cette structure d'ensemble de points à une distribution complètement aléatoire (Cressie, 1993), permettant de tester si les points qui définissent la structure sont repartis de manières aléatoire, agrégée ou régulière. Dans notre cas, les cacaoyers sont plantés à distance régulière, et cette méthode est utilisée pour tester si la distribution de leur état sanitaire est régulière ou aléatoire ou agrégée.

Un test basé sur le nombre de liens entre arbres malades a ensuite été utilisé (Cliff & Ord, 1981). Un lien établit une connexion entre deux arbres séparés par X lignes et Y colonnes. Le couple (X, Y) définit alors un ensemble de liens caractérisés par une distance et une orientation entre deux arbres. Les liens relatifs au couple (X, Y) peuvent être classés dans une des trois catégories sain-sain, sain-malade ou malade-malade. Nous avons utilisé le nombre de liens malade-malade relatifs à chaque couple (X, Y) pour caractériser l'agrégation entre arbres malades. Pour chaque couple (X, Y), les liens malade-malade sont comptés et leur nombre est comparé à la distribution du nombre de liens malade-malade sous l'hypothèse de répartition spatiale complètement aléatoire. La distribution asymptotique du nombre de liens est connue (Cliff & Ord, 1981), mais nous avons utilisé des distributions simulées en raison du faible nombre d'arbres dans les parcelles étudiées. Le niveau critique du test relatif à chaque couple (X, Y) peut être représenté sur un corrélogramme à deux dimensions. Cette méthode est analogue dans son principe à celle des classes de distance à deux dimensions (Gray et al, 1986).

## Résultats

La dynamique de la maladie est donnée pour chaque parcelle par les matrices de transition (Tableau 1)

Tableau 1: Matrices de transition pour chacune des 3 parcelles, entre l'année 2008 et l'année 2009 : (a) Parcelle 1, (b) Parcelle 2, (c) Parcelle 3.

(a)

Parcelle 1				
2009				
2008	sain	malade	mort	Total
sain	276 (69.52%)	114 (28.72%)	7 (1.76%)	397
malade		84 (84%)	16 (16%)	100
mort			250 (100%)	250
Total	276	198	273	747

(b)

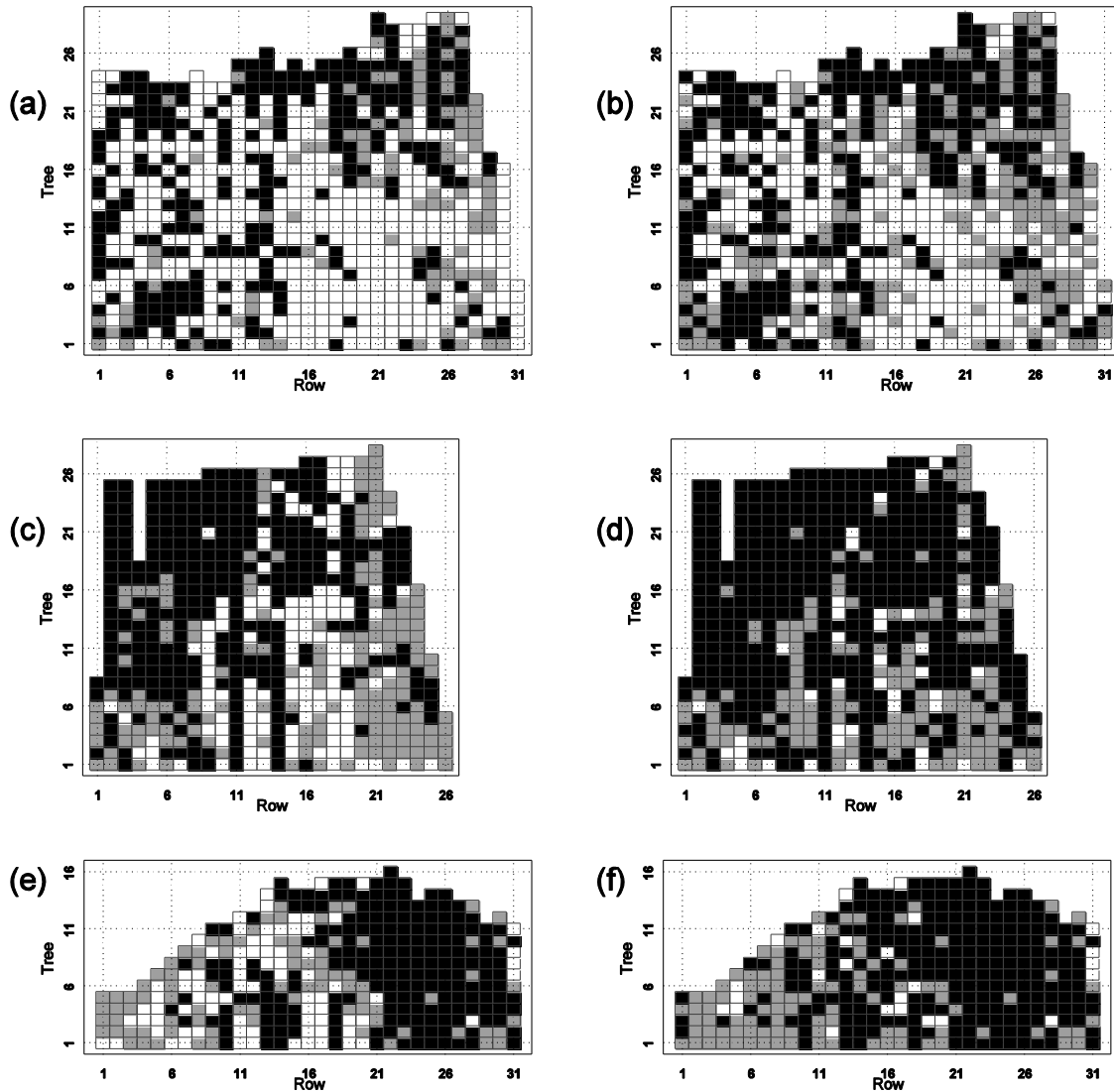
Parcelle 2				
2009				
2008	sain	malade	mort	Total
sain	42 (32.56%)	44 (34.11%)	43 (33.33%)	129
malade		100 (61.73%)	62 (38.27%)	162
mort			306 (100%)	306
Total	42	144	411	597

(c)

Parcelle 3				
2009				
2008	sain	malade	mort	Total
sain	25(36.86%)	36 (44.44%)	20 (22.19%)	81
malade		65 (75.58%)	21 (24.42%)	86
mort			198 (100%)	198
Total	25	101	239	365

Près de 70 % des arbres sains restent sains en deuxième année alors que seulement 33 % et 37% des arbres sains restent sains dans les parcelles 2 et 3 respectivement. Dans ces deux dernières parcelles, la maladie progresse donc plus vite. Les autres probabilités de transition indiquent la même chose. Plus les parcelles sont malades au départ et plus la cinétique de la maladie est rapide. Certains arbres sains passent directement à l'état de mort dans les parcelles 2 et 3 (33% et 22 %, respectivement) alors que ce passage est très rare dans la parcelle 1 (1.8 %).

Les répartitions spatiales des arbres sains, malades et morts sont représentées dans la figure 1.



**Figure 1:** Cartes de la répartition spatiale du Cacao Swollen Shoot dans les 3 parcelles pour les 2 dates: Parcelle 1, 2008 (a) et 2009 (b); Parcelle 2, 2008 (c) et 2009 (d); Parcelle 3, 2008 (e) et 2009 (f). Chaque rectangle représente un arbre: sain (rectangle blanc), malade (rectangle gris) et mort (rectangle noir).

L'analyse suivant les processus ponctuels avec la fonction de Ripley indique clairement que les différents états sont agrégés pour les 3 parcelles étudiées (Oro et al, 2012). Cette répartition est caractéristique d'un développement en foyer et confirme les travaux antérieurs.

L'analyse des liens complète cette analyse (Oro et al, 2012): sur les parcelles 1 et 3, une contamination de proche en proche suivant un développement en tâche est observée. Sur la parcelle 2, les contaminations suivent préférentiellement les lignes de cacaoyers, sachant que l'écartement sur la ligne est de 2.5 m alors que l'écart entre les lignes est de 3 m. Dans tous les cas, la maladie se propage préférentiellement entre arbres voisins, probablement en raison des faibles distances de dispersion des cochenilles vectrices.

## Conclusion

L'utilisation de barrières de caféiers et l'implantation de matériel génétique tolérant permet la culture du cacaoyer dans des zones endémiques : le CCSV est arrivé sur les parcelles entre 14 et 17 ans après leur installation sur une ancienne cacaoyère virosée, d'après les dires des planteurs. Vingt ans après l'installation de ces parcelles, l'une d'elles produisait encore. Un bon entretien et l'arrachage des premiers foyers auraient sûrement permis de prolonger la période de production de ces parcelles.

Les vitesses de progression de la maladie augmentent rapidement avec le niveau d'infestation des parcelles. Un bon entretien permettrait sûrement de limiter ces vitesses, et notamment l'élimination des arbres malades dès l'apparition des premiers symptômes (Jeger et al, 1993 ; Dzahini-Obiatey et al, 2006).

La maladie se développe suivant des foyers en se propageant de proche en proche. Les arbres sont généralement contaminés par leurs plus proches voisins, probablement en raison des migrations des cochenilles vectrices Ollennu et al, 1989).

Ces différents éléments permettent de conclure que l'utilisation de dispositifs de plantation appropriés permettrait de limiter la vitesse de propagation de la maladie. Il s'agirait notamment d'entourer systématiquement les nouvelles plantations par des barrières, constituées par exemple de caféiers ou d'autres espèces arbustives à déterminer. L'utilisation de systèmes agroforestiers ou de dispositifs en haies fruitières, permettant de diminuer le contact entre cacaoyers adjacents, devrait également être testée pour voir dans quelle mesure ces dispositifs peuvent réduire la vitesse de propagation de la maladie.

## Références

- Cilas C, Dufour B, Djiekpor EK, 1988. Etude de la résistance au Swollen Shoot du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) dans un diallèle quasi complet 8 x 8. *Café Cacao Thé* 32(2), 105-10.
- Cilas C, Muller E, Mississo E, 2005. Occurrence of *Cacao Swollen Shoot Virus* in Litimé, the Main Cocoa Producing Area of Togo. *Plant Disease* 89, 913.
- Cliff AD, Ord JK, 1981. Spatial processes: models and applications. Pion, London.
- Cressie NAC, 1993. Statistics for spatial data. Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics. 900 p.
- Dufour B., 1991. Place et importance des différentes espèces d'insectes dans l'écologie du CSSV (Cocoa swollen shoot Virus) au Togo. *Café Cacao Thé* 35(3), 197-203.
- Dzahini-Obiatey, H., Akumfi Ameyaw, G. and Ollennu, L.A., 2006. Control of cocoa swollen shoot disease by eradicating infected trees in Ghana: A survey of treated and replanted areas. *Crop Protection* 25, 647-652.
- Gray SM, Moyer JW, Bloomfield P, 1986. Two-dimensional distance class model for quantitative description of virus-infected plant distribution lattices. *Phytopathology* 76, 243-8.
- Jeger, M.J. and Thresh, J.M., 1993. Modelling reinfection of replanted cocoa by swollen shoot virus in pandemically diseased areas. *Journal of Applied Ecology* 30, 187-196.
- Meiffren M, 1949. Swollen shoot, maladie du cacaoyer. *Agron. Trop.* 4, 563-78.
- Ollennu, L.A.A., Owusu, G.K. and Thresh, J.M., 1989. Spread of cocoa swollen shoot virus to recent plantings in Ghana. *Crop Protection* 8, 251-264.
- Posnette AF, 1940. Transmission of swollen shoot disease of cacao. *Trop. Agr.* 17 (5), 98.
- Ripley BD, 1977. Modeling spatial patterns. *Journal the Royal statistical society Series B-Methodological* 39, 172-212.
- Thresh JM, Owusu GK, 1986, the control of cocoa swollen shoot disease in Ghana: an evaluation of eradication procedures. *Crop Protection* 5, 41-52.
- Thresh JM, Owusu GK, Ollennu LAA (1988) Cocoa swollen shoot: an archetypal crowd disease. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 95: 428-446