



agricultures
tropicales en poche

Le cotonnier

M. Crétenet et J.-P.  ourlot,
coordinateurs



Quæ
CTA
Presses
agronomiques
de Gembloux

Exemplaire auteur

Le cotonnier

Exemplaire auteur

Exemplaire auteur

Agricultures tropicales en poche

Directeur de la collection

Philippe Lhoste

Le cotonnier

Michel Crétenet et Jean-Paul Gourlot, coordinateurs

Avec les contributions de : Alain Renou, Thierry Brevault,
Dominique Dessauw, Yannick Biard, Pascal Marnotte, Edward
Gérardeaux, Johnny Boyer (†), Hervé Guibert, Maéva Marcin,
Claudine Basset-Mens, Bruno Bachelier et Jean-Luc Hof

Éditions Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux

À propos du CTA

Le centre technique de coopération agricole et rurale (CTA) est une institution internationale conjointe des États du groupe ACP (Afrique, Caraïbes, Pacifique) et de l'Union européenne (UE). Il intervient dans les pays ACP pour améliorer la sécurité alimentaire et nutritionnelle, accroître la prospérité dans les zones rurales et garantir une bonne gestion des ressources naturelles. Il facilite l'accès à l'information et aux connaissances, favorise l'élaboration des politiques agricoles dans la concertation et renforce les capacités des institutions et communautés concernées.

Le CTA opère dans le cadre de l'Accord de Cotonou et est financé par l'UE.



CTA, PO Box 380, 6700 AJ Wageningen, Pays-Bas
www.cta.int

Éditions Quæ, RD 10, 78026 Versailles Cedex, France
www.quae.com

Presses agronomiques de Gembloux, Passage des Déportés, 2,
B-5030 Gembloux, Belgique
www.pressesagro.be

© Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux 2015

ISBN (Quæ) : 978-2-7592-2380-0

ISBN (CTA) : 978-92-9081-600-3

ISBN (PAG) : 978-2-87016-135-7

ISSN : 1778-6568

Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation des éditeurs ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris.



Table des matières

Avant-propos	7
Remerciements	9
1. Introduction <i>Michel Crétenet et Jean-Paul Gourlot</i>	11
2. Contexte et enjeux des filières cotonnières africaines	15
<i>Michel Crétenet</i>	
Place de l'Afrique dans le secteur du coton à l'échelle mondiale	16
Impacts socio-économiques de l'essor du secteur cotonnier en Afrique	21
Coton et sécurité alimentaire	23
La qualité : principal atout du coton africain.....	24
3. La plante et sa sélection <i>Dominique Dessauw</i>	25
La plante	25
La sélection variétale	28
Conclusion	49
4. Potentialités du milieu, rendement et qualité en culture cotonnière	51
Potentialités des savanes cotonnières africaines <i>Michel Crétenet</i>	51
L'élaboration du rendement du cotonnier et de la qualité du coton-graine <i>Michel Crétenet</i>	59
Conduite raisonnée des systèmes de culture à base de cotonnier intégrant la gestion de la fertilité des sols <i>Michel Crétenet</i>	69
Composante biologique de la fertilité du sol	93
<i>Johnny Boyer (†) et Hervé Guibert</i>	
Optimiser les fonctions de la matière organique du sol dans le processus de production <i>Michel Crétenet</i>	98
La lutte contre les enherbements <i>Pascal Marnotte</i>	101
Changement climatique et modalités d'adaptation de la culture cotonnière <i>Edward Gérarddeaux</i>	104
5. Ravageurs et maladies du cotonnier, et gestion intégrée des ravageurs <i>Alain Renou et Thierry Brévault</i>	109
Les ravageurs du cotonnier en Afrique.....	109
Les maladies du cotonnier	129
La protection du cotonnier contre ses ravageurs.....	131
Perspectives d'évolution de la protection du cotonnier	152



6. Le cas des cotonniers transgéniques <i>Jean-Luc Hofs</i>	155
Mode d'action de la lutte chimique comparé à celui des OGM Bt.....	156
Spécificité du coton Bt	158
Proposition d'une grille de décision.....	162
7. Transformation et utilisation	167
<i>Jean-Paul Gourlot et Bruno Bachelier</i>	
Du champ à l'usine	167
De l'usine au port.....	171
Point particulier sur la trituration de la graine et la valorisation des coproduits	176
La filature et la filière textile.....	178
8. L'évaluation environnementale des systèmes cotonniers par Analyse de cycle de vie	185
<i>Yannick Biard, Maéva Marcin, Alain Renou, Claudine Basset-Mens et Jean-Paul Gourlot</i>	
Qu'est-ce que l'Analyse de cycle de vie ?	185
Critères évalués et méthodes d'analyse d'impact.....	187
Les réponses apportées par l'Analyse de cycle de vie	187
L'inventaire de cycle de vie	190
L'Analyse de cycle de vie de la culture de cotonnier	191
Perspectives et recherches en Analyse de cycle de vie	194
Conclusion	195
Glossaire	197
Références bibliographiques	201
Sites internet	207
Abréviations, sigles	207
Caractéristiques et indicateurs	208
Index	211



Avant-propos

La collection *Agricultures tropicales en poche* a été créée par un consortium comprenant le CTA de Wageningen (Pays-Bas), les Presses agronomiques de Gembloux (Belgique) et les éditions Quæ (France). Cette collection comprend trois séries d'ouvrages pratiques consacrés aux productions animales, aux productions végétales et aux questions transversales. Ces guides pratiques sont destinés avant tout aux producteurs, aux techniciens et aux conseillers agricoles. Ils se révèlent être également d'utiles sources de références pour les chercheurs, les cadres des services techniques, les étudiants de l'enseignement supérieur et les agents des programmes de développement rural.

Le présent ouvrage est consacré au cotonnier et au coton dont on connaît l'importance économique non démentie en ce début de ^{xxi}^e siècle. La culture du cotonnier est présente dans une centaine de pays et notamment dans les zones de savane de nombreux pays d'Afrique. Après la récolte du coton-graine, l'égrenage permet de séparer la fibre de la graine.

Cette culture cotonnière, dite de rente ou commerciale, est pratiquée principalement pour sa fibre qui est un textile naturel de première grandeur dans l'économie mondiale. Le coton fait en effet l'objet d'échanges commerciaux importants. L'importance économique de la culture cotonnière est confirmée par le poids de la fibre de coton dans les exportations; c'est donc une source de recettes en devises essentielle pour certains de ces pays.

La graine est souvent traitée sur place pour produire de l'huile et du tourteau. L'huile de coton est une huile alimentaire de bonne qualité et de première importance dans de nombreux pays d'Afrique subsaharienne. Les tourteaux de coton, riches en protéines et en phosphore, sont ajoutés à l'alimentation des ruminants. Ces différentes valorisations des produits de la culture du cotonnier expliquent l'importance économique et sociale de cette culture stratégique dans de nombreux pays africains en particulier. Les crises récurrentes, dues aux fluctuations des cours, affectent fortement les pays en développement producteurs de coton.

Dans cet ouvrage, les auteurs présentent d'abord le contexte socio-économique et agro-écologique de la culture, avec une référence principale à l'Afrique francophone. Ils développent ensuite les connaissances sur la plante et les systèmes de culture à base de cotonnier.

La lutte contre les ravageurs et la protection intégrée des ravageurs tiennent également une place importante compte tenu de la sensibilité de cette culture à différents agresseurs. Les cas particuliers des cotons *glandless* (sans gossypol) et des cotonniers transgéniques sont abordés pour déboucher sur des éléments d'aide à la décision. La transformation et l'utilisation des produits de la culture cotonnière, fibre comme graine, finalités essentielles pour cette culture industrielle, sont ensuite traités. Enfin, un dernier chapitre aborde l'évaluation environnementale des systèmes cotonniers par l'Analyse de cycle de vie.

Deux auteurs principaux ont coordonné ce travail : Michel Crétenet, agronome, et Jean-Paul Gourlot, technologue. De nombreux autres chercheurs du Cirad ont contribué, chacun dans sa spécialité, à rendre cet ouvrage tout à fait à jour sur le plan des connaissances scientifiques. Il s'agit de Alain Renou et Thierry Brévault, entomologistes et spécialistes de la lutte contre les ravageurs, Dominique Dessauw, généticien sur les ressources génétiques et la valorisation des variétés végétales, Yannick Biard, Maéva Marcin et Claudine Basset-Mens, agronomes et spécialistes en Analyse de cycle de vie, Pascal Marnotte, malherbologue, Edward Gérardaux, écophysiologiste modélisateur, Johnny Boyer (†), biologiste du sol, Hervé Guibert, agronome spécialiste des systèmes de culture à base de cotonniers, Bruno Bachelier, généticien, technologue et spécialiste en égrenage, et Jean-Luc Hofs, généticien spécialiste en cotonniers génétiquement modifiés.

Cet ouvrage à la fois concis, précis dans ses formulations et complet sur cette culture et ses produits, constitue une synthèse actualisée des connaissances sur le cotonnier et le coton ; il sera d'une grande utilité pour les acteurs du développement dans les pays producteurs de coton. Cela est d'autant plus important que des crises périodiques affectent les cours de ce produit, et que ce sont les paysans du Sud qui en subissent les conséquences.

Philippe Lhoste
Directeur de la collection Agricultures tropicales en poche



Remerciements

Nous voudrions remercier le Cirad de nous avoir encouragés à produire cet ouvrage, et les éditeurs, le CTA de Wageningen (Pays-Bas), les Presses agronomiques de Gembloux (Belgique) et les éditions Quæ (France), pour avoir accepté de le publier.

Nous tenons à remercier Bruno Bachelier, Claudine Basset-Mens, Yannick Biard, Johnny Boyer (†), Thierry Brévault, Dominique Dessauw, Edward Gérarddeaux, Hervé Guibert, Jean-Luc Hofs, Maéva Marcin, Pascal Marnotte et Alain Renou pour avoir participé à la pluridisciplinarité de cet ouvrage grâce à leurs contributions scientifiques et techniques. Nous avons souhaité que cet ouvrage soit accessible à tous ; nous remercions tous les contributeurs d'avoir partagé l'objectif de rendre cet ouvrage facilement compréhensible et adapté à un large public de professionnels. Nous nous adressons également à Guy Mergeai (Gembloux, Agro-Bio Tech, université de Liège, Belgique) qui a apporté ses corrections et recommandations sur le chapitre génétique.

Nos remerciements vont également à Philippe Lhoste, directeur de la collection *Agricultures tropicales en poche*, pour son accompagnement pendant la rédaction, et à Claire Parmentier des Presses agronomiques de Gembloux et à Claire Jourdan-Ruf des éditions Quæ pour le travail accompli dans la mise en forme finale de cet ouvrage.

Exemplaire auteur



1. Introduction

Michel Crétenet et Jean-Paul Gourlot

Le présent ouvrage rassemble les connaissances actualisées sur les outils permettant d'améliorer les pratiques culturales en culture cotonnière en fonction des conditions du milieu (climat, sol, pression parasitaire, etc.), des objectifs du producteur (rendement, qualité) et de ses contraintes techniques et économiques. À terme, il s'agit de contribuer à la transition d'une vulgarisation de recommandations normatives adressées au producteur vers une vulgarisation d'outils d'aide à la décision paramétrables en fonction du contexte socio-économique, des conditions spécifiques du milieu naturel et des objectifs de production quantitatifs et qualitatifs. Ainsi l'aide à la décision apportée au producteur porte sur l'itinéraire technique de conduite de sa culture (choix variétal, fertilisation, entretien et protection de la culture, etc.), et ses éventuels impacts environnementaux (fertilité des sols, résistance des ravageurs, etc.). De plus, la caractérisation du risque associé à la prise de décision, en fonction notamment des aléas pluviométriques, constitue un critère important en complément de l'évaluation des conséquences économiques de la prise de décision.

L'édition de 1986 de l'ouvrage *Le cotonnier en Afrique Tropicale*, dans la collection *Le technicien d'agriculture tropicale* (Éditions Maisonneuve et Larose), présentait les recommandations adressées au vulgarisateur et au producteur dans un contexte de filières cotonnières intégrées. Cet état des lieux des connaissances techniques s'inscrivait dans une période charnière des performances de la culture cotonnière en Afrique de l'Ouest et du Centre illustrée par l'évolution des rendements et des productions de 1980 à 2014 (figure 1.1).

L'augmentation des rendements observée au début des années 1980 doit être essentiellement attribuée à l'amélioration de la protection phytosanitaire de la culture correspondant à l'emploi des insecticides pyréthrinoides associé aux techniques de pulvérisation en ultra-bas volume (ULV, *Ultra Low Volume*). Les rendements moyens les plus élevés pour l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest et du Centre ont été enregistrés pour les années 1986 à 1990. Au début des années 1980, la subvention des intrants (engrais et insecticides) était généralisée,

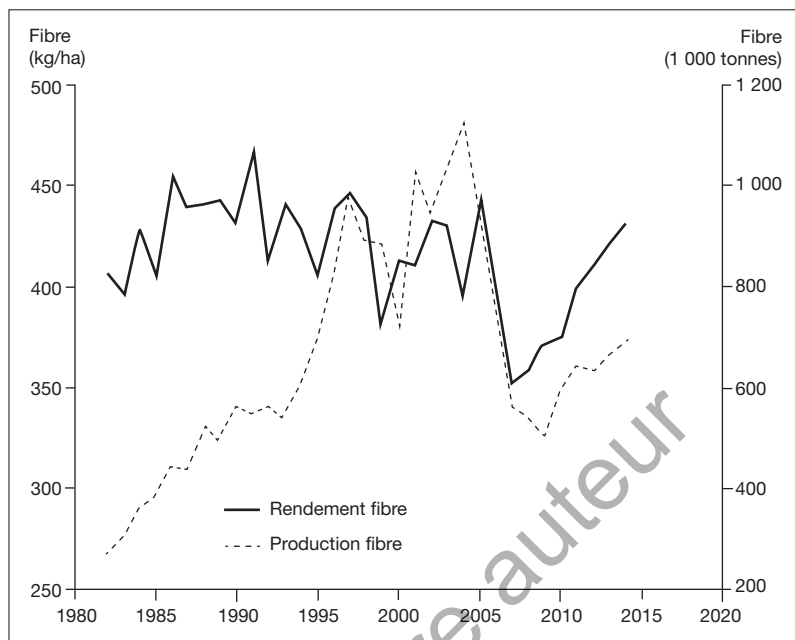


Figure 1.1.

Rendement en fibre et production cotonnière en Afrique de l'Ouest et du Centre. (Source : ICAC, World Statistics)

mais depuis les années 1990 les intrants sont le plus souvent vendus au producteur à leur prix de revient. La dévaluation du Franc CFA (FCFA) en 1994 a fortement contribué au renchérissement relatif du coût des intrants et a marqué le début de la baisse des rendements dans les neuf pays de la zone Franc (Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Mali, République centrafricaine, Sénégal, Tchad, Togo). Parallèlement, la production cotonnière a régulièrement progressé jusqu'aux années 2003 à 2004, avec une production et une superficie record correspondant à 1 million de tonnes de fibres produites sur 2,5 millions d'hectares. De 2004 à 2009, la production de la zone Franc a baissé sensiblement en raison de la baisse des rendements et de la diminution des superficies, tout d'abord du fait de l'extensification des systèmes de culture associée à une baisse de la fertilité du milieu, et ensuite du fait d'un désintérêt passager des paysans pour la culture cotonnière, conséquence de ces évolutions. Depuis, la tendance s'est inversée et une reprise de la production cotonnière est observée.



Le processus de libéralisation des filières cotonnières, impulsé par les institutions de *Bretton Woods* (Banque mondiale et Fonds monétaire international) dès la crise cotonnière de 1985, a remis en cause le système d'intégration des filières africaines et le rôle interventionniste des États. Par ailleurs, ce processus a modifié profondément les acteurs concernés et la nature des attentes vis-à-vis de la recherche. En effet, jusqu'alors intégré au sein des sociétés cotonnières, l'encadrement technique de la culture a été externalisé et cela s'est accompagné d'un processus de libéralisation. Ainsi, la fonction de vulgarisation a progressivement disparu et a été remplacée dans le meilleur des cas par une fonction de conseil technique assurée par des producteurs leaders issus des groupements de producteurs. Cette reconfiguration a suscité le besoin de mettre à jour des savoirs paysans et des connaissances techniques issues de la recherche afin d'améliorer l'efficacité des messages adressés aux producteurs à travers de nouveaux canaux de diffusion.

Exemplaire auteur

Exemplaire auteur

2. Contexte et enjeux des filières cotonnières africaines

Michel Crétenet

Le cotonnier est cultivé sur les cinq continents (tableau 2.1), dans une centaine de pays. En 2010, la culture cotonnière concernait 34 millions d'hectares soit 2,5 % de la surface totale cultivée à l'échelle mondiale. La production mondiale annuelle de fibre de coton est de l'ordre de 25 millions de tonnes dont environ 30 % sont échangés sur le marché international (figure 2.1). Le marché est dominé par la Chine, qui est à la fois le premier producteur devant les États-Unis et l'Inde, le premier importateur et le premier consommateur à l'échelle mondiale.

Tableau 2.1. Productions et consommations de fibres de coton dans le monde.

Région, pays	Production (1000 t)	Consommation (1000 t)
Amérique centrale	65	530
Amérique du Sud	1105	1235
Amérique du Nord	3730	1835
Afrique de l'Ouest	975	100
Afrique du Nord	350	250
Afrique subsaharienne (autres pays)	350	200
Moyen-Orient	1395	1645
Europe	475	955
Fédération de Russie	30	645
Asie centrale	1480	385
Asie du Sud	4935	5870
Asie de l'Est	55	1700
Chine	4510	5195
Australie	655	30

(Source : Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, OCDE, 2006)

À l'échelle mondiale, la production de coton correspond à environ 350 millions d'emplois (culture, transport, égrenage, emballage, stockage), sans compter les millions d'emplois liés au machinisme agricole, au secteur des agrofouritures, à l'équipement industriel, à la transformation des graines et à l'industrie textile.

Place de l'Afrique dans le secteur du coton à l'échelle mondiale

Selon les statistiques CCIC ou ICAC, la position de l'Afrique a évolué entre la quatrième et la sixième place mondiale des régions productrices de fibre de coton, représentant entre 4 et 10 % de la production mondiale, soit entre 0,9 et 1,7 million de tonnes par an depuis les années 1990 (figure 2.1). En Afrique, on observe une évolution de la production plus marquée en Afrique du Sud-Est (anglophone) et en Afrique de l'Ouest et du Centre (qui regroupe les pays francophones), tandis que celle d'Afrique du Nord diminue constamment (figure 2.2).

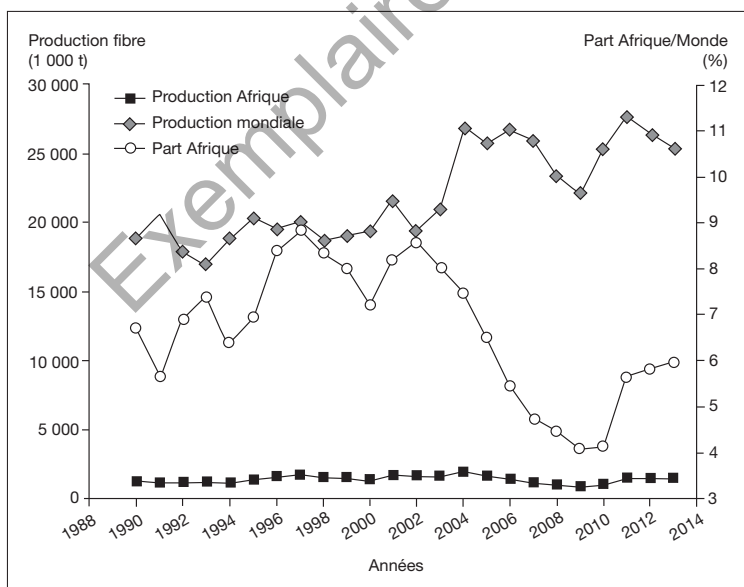


Figure 2.1.
Place de l'Afrique dans la production mondiale.
(D'après les statistiques ICAC, Washington)

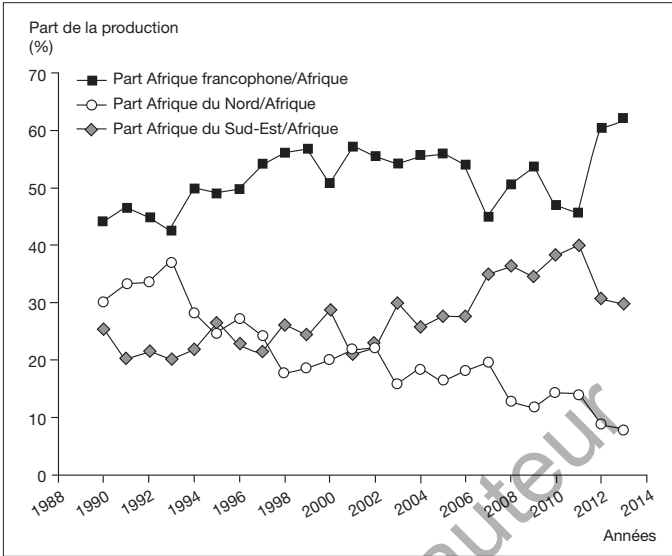


Figure 2.2. Évolution des parts relatives des grandes régions africaines dans la production cotonnière africaine. (D'après les statistiques ICAC, Washington)

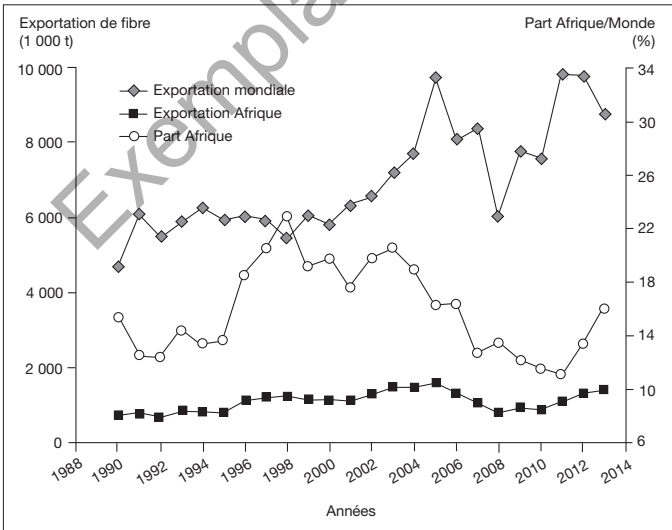


Figure 2.3. Exportations mondiales de fibre. (D'après les statistiques ICAC, Washington)

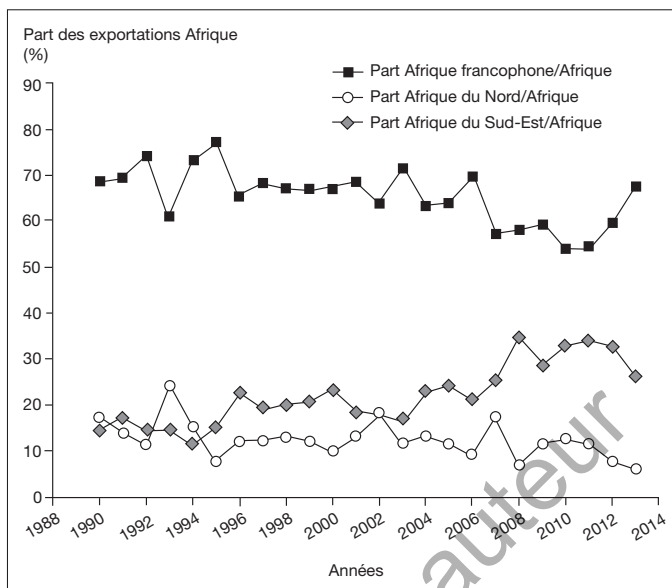


Figure 2.4.

Parts relatives des grandes régions de l'Afrique dans les exportations africaines. (D'après les statistiques ICAC, Washington)

La position de l'Afrique a évolué entre la deuxième et la cinquième place des exportations de fibres en couvrant entre 9 et 22 % des exportations mondiales, et entre 0,7 et 1,6 million de tonnes par an depuis les années 1990 (figure 2.3). La part des grandes régions africaines dans ces exportations suit une tendance parallèle à celle des productions (figure 2.4). En outre, dans les échanges sur le marché mondial de la fibre de coton, la Chine et l'Asie du Sud-Est sont les principaux importateurs de fibre, notamment de coton produit en Afrique de l'Ouest et du Centre (figure 2.5).

▮ À propos de la volatilité des cours mondiaux de la fibre

Comme pour la plupart des matières premières, le prix mondial de la fibre de coton correspond au jeu de l'offre et de la demande. Le coton est coté en bourse (bourse de New York, bourse de São Paulo) et le prix de référence mondial correspond à l'indice A du *Cotton Outlook* de Liverpool, la principale caractéristique de ce prix est son extrême volatilité, en particulier depuis les années 2000 (figure 2.6). Le prix de la fibre de coton a atteint son niveau le plus bas en 2001, à 0,35 dollar US/livre,

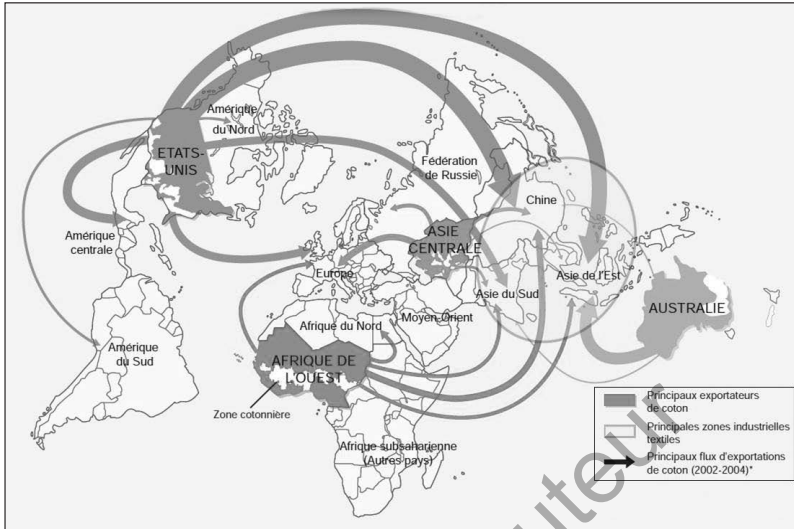


Figure 2.5.

Flux des fibres de coton vers les zones de transformation
(© Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest / OCDE 2006).

Les flux représentés englobent 90% des exportations des États-Unis, de l'Asie centrale, de l'Afrique de l'Ouest et de l'Australie.

soit 560 FCFA/kg, soit un niveau de prix inférieur aux coûts moyens de production en Afrique. Le prix de la fibre a atteint un niveau record en 2011 à 1,65 dollar US/livre, soit 1670 FCFA/kg. Pour bon nombre d'observateurs, les différentes crises correspondant à un effondrement du prix mondial de la fibre résultent d'une surproduction mondiale, engendrée par les soutiens à la production et à l'exportation octroyés aux producteurs des pays développés.

Alors que les institutions de *Bretton Woods* remettaient en cause les subventions aux intrants dont bénéficiaient certains producteurs africains dès 1985, paradoxalement, les subventions octroyées aux producteurs de coton américains ont fortement progressé ; elles étaient de 4,2 milliards de dollars en 2002, soit plus de trois fois l'aide publique américaine au développement de toute l'Afrique subsaharienne. Le problème de la distorsion du marché international engendrée par les subventions a été porté par quatre pays africains (Bénin, Burkina Faso, Mali et Tchad) devant l'Organisation mondiale du commerce à la Conférence de Cancún en 2003, puis à celle de Hong Kong en 2005, mais les réponses apportées à ce jour sont loin de rétablir l'équité en termes de compétitivité à l'échelle internationale.

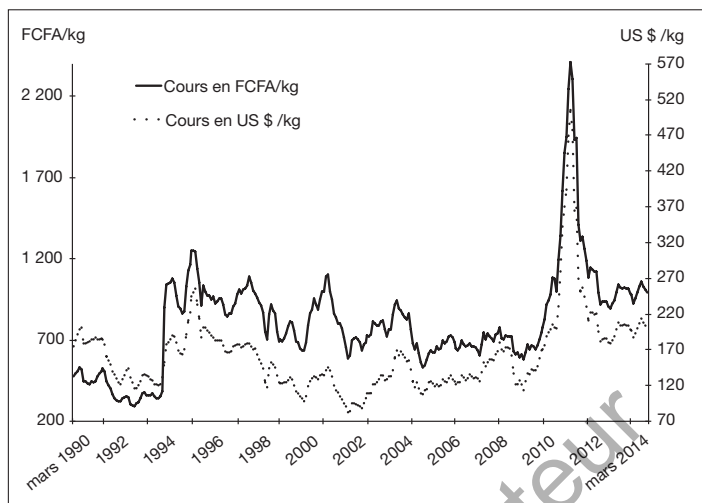


Figure 2.6.

Évolution des cours de la fibre de coton de 1990 à 2014
(exprimés en Fcfa ou en cents US \$ / kilo).

▮ En réponse aux crises cotonnières successives, le secteur du coton africain s'organise

À partir des années 2000, le secteur cotonnier africain s'organise pour défendre ses intérêts dans un marché mondial fortement dérégulé, notamment avec la création de l'Association cotonnière africaine (ACA) et de l'Association des producteurs de coton africain (Aproca).

L'ACA, créée en 2002, comprend 31 membres actifs représentant les professionnels du secteur coton de 18 pays d'Afrique et a installé son siège à Cotonou. Son but est de créer un cadre de concertation pour traiter des questions d'intérêt commun, défendre les filières cotonnières africaines face à un environnement économique mondial déséquilibré par les subventions, défendre leurs intérêts et promouvoir le coton africain, organiser la concertation, les échanges d'expériences et la mise en commun de moyens, de ressources et d'expertise entre les sociétés cotonnières notamment en matière d'agronomie, d'égrenage, de logistique et de politique commerciale.

L'Aproca est une association créée en 2004, qui regroupe les représentants des producteurs de coton de 13 pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre auxquels se sont joints en 2009 la Zambie et l'Ouganda. Les objectifs poursuivis sont de promouvoir la solidarité, de favoriser



la concertation et la coopération entre les organisations membres, d'échanger les informations et les expériences et de défendre les intérêts des producteurs face à la distorsion du marché mondial du coton.

À l'échelle de l'exploitation agricole, les crises cotonnières ont un impact majeur sur les revenus des producteurs africains tributaires de la production cotonnière qui constitue leur principale, voire leur unique source de revenus. La mise en place de systèmes de stabilisation des prix (prix plancher, ristournes) a permis de répartir les risques entre les différents acteurs de la filière.

Impacts socio-économiques de l'essor du secteur cotonnier en Afrique

En Afrique, la culture cotonnière concerne trois bassins de productions (tableau 2.2). Le bassin ouest-africain est de loin le plus important, avec 60 % de la production cotonnière du continent. Le rôle moteur de la culture cotonnière sur le développement socio-économique y est encore plus marqué que dans les autres bassins de production, par le fait qu'elle a été la première culture de rente introduite et qu'elle représente encore souvent aujourd'hui la principale, sinon la seule culture de rente aux côtés de cultures vivrières essentiellement destinées à l'autoconsommation. Le coton est aujourd'hui reconnu comme le principal facteur du développement des savanes d'Afrique subsaharienne, par les mutations en profondeur du monde rural qu'il a induit à travers l'organisation des producteurs, le commerce, l'emploi, le transport, l'éducation, la santé. En effet, le revenu régulier lié à la production cotonnière permet à la fois de renforcer la capacité financière des familles et de favoriser l'autonomie des femmes et des jeunes.

L'émergence des groupements de producteurs de coton représente sans doute la plus importante mutation sociale à l'échelle villageoise engendrée par le développement du secteur coton en Afrique de l'Ouest et du Centre. Mis en place par les sociétés cotonnières pour compenser la réduction des effectifs des services d'encadrement et alléger leurs tâches, les groupements de producteurs intègrent des lettrés capables d'assurer la pesée du coton sur le marché villageois et la comptabilité du groupement. La gestion et l'approvisionnement en semences et en intrants, ainsi que la vulgarisation agricole leur ont ensuite été progressivement transférés. Les ristournes versées aux groupements en rétribution de ces services ont permis à ces groupements de disposer d'un budget investi dans des équipements collectifs : moulins, écoles,

dispensaires, magasins de stockage, greniers, puits, etc. Aussi, ces groupements sont devenus, grâce aux actions de formation et aux investissements réalisés, les principaux acteurs du développement des villages.

La traction animale s'est largement développée dans certaines zones cotonnières grâce aux revenus procurés par le coton et aux facilités

Tableau 2.2. Productions comparées dans les grands bassins cotonniers africains. (Source : ICAC, *World Statistics*, 2010)

Régions africaines	Année 1970 Production (1 000 t)	Année 2014 Production (1 000 t)	Record production (1 000 t)	Année du record	Pays concernés
Afrique du Nord	796	195	796	1970	Algérie, Egypte, Maroc, Soudan, Tunisie
Afrique francophone	168	663	1 127	2004	Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Madagascar, Mali, Niger, République centrafricaine, Sénégal, Tchad, Togo
Afrique du Sud	418	494	541	2004	Angola, Afrique du Sud, Burundi, Éthiopie, Ghana, Kenya, Mozambique, Nigeria, République démocratique du Congo, Tanzanie, Uganda, Zambie, Zimbabwe
Afrique total	1 382	1 352			
Monde	11 379	26 176			
Part de la production africaine (% de la production mondiale)	12,1	5,2			



d'achat offertes par les sociétés cotonnières (vente d'équipements, crédit voire subvention, formation au dressage des attelages). Elle a permis la mise en place d'étables fumières dans les exploitations et a contribué à l'essor des activités des forgerons pour l'entretien des charrues, des scarificateurs et des semoirs.

À l'échelle nationale, outre les nombreux emplois générés par le secteur coton dans l'encadrement de la production, ou dans des activités de transport et de transformation (usines d'égrenage, huileries), la contribution des exportations de coton constitue une rentrée importante de devises.

Coton et sécurité alimentaire

La culture cotonnière joue un rôle sécurisant indéniable sur l'auto-suffisance alimentaire. Les crédits de campagne autorisés par la culture cotonnière permettent aux producteurs d'accéder à des engrais minéraux qui bénéficient directement ou sous forme d'arrière-effets aux productions vivrières cultivées en rotation avec le cotonnier (figure 2.7). Plus généralement, les régions cotonnières sont devenues excédentaires en céréales comme l'illustre la figure 2.7.

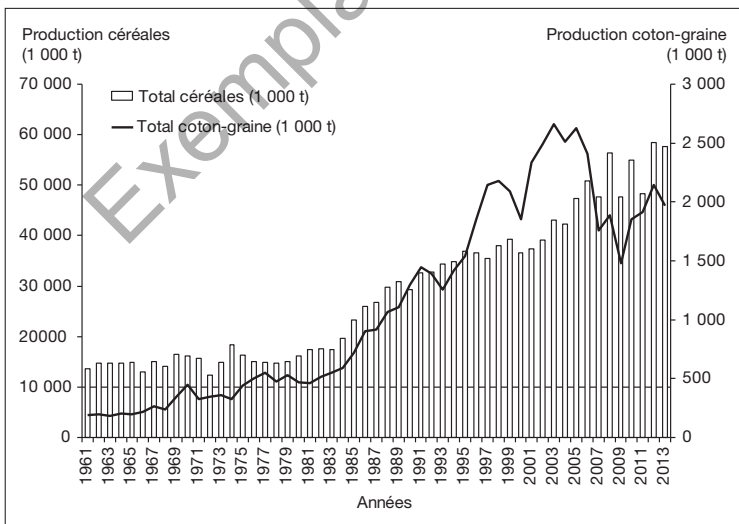


Figure 2.7.

Évolution comparée des productions de céréales et de coton en Afrique.
(Source : FAO STAT, 2014)

La qualité : principal atout du coton africain

La valeur commerciale du coton sur le marché international est déterminée par sa qualité. En Afrique, l'appréciation de cette qualité passe par des références à des types de vente (voir chapitre 7) et à la longueur des fibres. Ces références particulières aux cotons africains résultent de spécificités de leur mode de production : culture pluviale au sein de petites exploitations familiales, récolte manuelle et commercialisation primaire au niveau des marchés villageois.

Les premiers « standards Afrique » de qualité de la fibre de coton ont été définis en 1995 par l'Association française cotonnière (Afcot). Même si la commercialisation des fibres se poursuit sur cette base dans beaucoup de pays, ces standards ne reflètent plus la réalité de la qualité de la production africaine ; en effet, la modernisation de l'outil industriel et les progrès réalisés dans la création variétale ont largement contribué, d'une part, à l'amélioration de la qualité de la fibre et, d'autre part, à la naissance d'une multitude de matières de référence pour le classement de la qualité des productions ou « types de vente » des pays africains. La mondialisation du commerce impose de promouvoir de nouveaux standards qui serviront de base à la défense du coton africain et à la constitution d'un label, puis à sa promotion. En outre, surtout depuis les années 2000, on observe une tendance à l'utilisation croissante d'instruments de mesures pour déterminer les caractéristiques technologiques des fibres de coton à des fins de commercialisation.



3. La plante et sa sélection

Dominique Dessauw

La plante

Les cotonniers sont des arbustes pérennes, à port rampant ou érigé, appartenant à la famille des Malvacées, laquelle comprend notamment les hibiscus, la mauve, les roses trémières, les gombos et le cacaoyer.

▮ Le genre *Gossypium*

Les cotonniers constituent le genre *Gossypium* composé d'une cinquantaine d'espèces dont 45 diploïdes (possédant 26 chromosomes) et 5 tétraploïdes (à 52 chromosomes). Deux nouvelles espèces tétraploïdes pourraient prochainement intégrer le genre. La collection du Cirad, sixième collection mondiale de cotonnier, comprend plus de 3500 accessions en 2015, issues de 27 espèces diploïdes et des 5 espèces tétraploïdes et provenant de plus de 90 pays (Dessauw et Hau, 2006). La diversification des cotonniers remonterait à quelques millions d'années. Les cotonniers se rencontrent naturellement dans les zones intertropicales des différents continents (tableau 3.1).

Les espèces tétraploïdes proviennent du croisement sur le continent américain entre une espèce africaine de génome A et une espèce américaine de génome D.

Seules quatre espèces sont cultivées.

Deux espèces sont diploïdes : *G. herbaceum* et *G. arboreum*, de génome A, unique génome responsable de la production sur le tégument de la graine de poils cellulosiques suffisamment longs pour être filables. Ce sont des espèces possédant un cycle long, faiblement productives et surtout cultivées de manière pérenne dans des systèmes traditionnels, en particulier dans les cultures de case en Afrique et en Asie du Sud. La fibre est courte et grossière et sert entre autres à la sacherie et à la confection de textiles traditionnels naturellement colorés.

Tableau 3.1. Classification du cotonnier.

Génome	Espèce	Répartition géographique
A	<i>herbaceum</i> ⁽¹⁾	Afrique et Inde
	<i>arboreum</i>	Afrique de l'Est à l'Asie du Sud
B	3 espèces	Afrique du Sud et Afrique centrale, Cap-Vert
?	<i>trifurcatum</i>	Est Somalie
E	7 espèces	Afrique du Sud-Est, Arabie
F1	<i>longicalyx</i>	Afrique de l'Est
C	3 espèces	Australie
K	12 espèces	Australie : côtes nord et nord-ouest
G	3 espèces	Australie : Nord et Centre
D	13 espèces	Mexique, Arizona, Californie, Galapagos, Pérou
AD	<i>hirsutum</i>	Amérique centrale, Amérique du Sud, région nord
	<i>barbadense</i>	Amérique du Sud et petites Antilles
	<i>tomentosum</i>	Hawaï
	<i>mustelinum</i>	Brésil
	<i>darwinii</i>	Galapagos

(1) En caractères gras, les espèces cultivées.

Deux espèces sont tétraploïdes :

- *G. barbadense* (planche couleur – photo 1) qui ne couvre que 2 ou 3 % de la surface mondiale cultivée en cotonnier mais qui produit la fibre la plus fine, la plus résistante et la plus longue. Le coton issu de cette espèce est utilisé pour les textiles de haute qualité comme les tissus peignés. En Afrique, l'espèce *G. barbadense* est cultivée en Égypte (variétés Giza) et au Soudan ;
- *G. hirsutum* qui couvre plus de 90 % de la surface mondiale. Elle est de loin l'espèce la plus cultivée, notamment en Afrique ; c'est la seule espèce présente au sud du Sahara pour une production industrielle. Elle est très productive et sa fibre est de qualité moyenne, intermédiaire entre celle de *G. barbadense* et celles des deux espèces diploïdes.

▮ Morphologie

Dans la nature, la hauteur des cotonniers peut atteindre plusieurs mètres. La plupart des ancêtres sauvages des cotonniers cultivés sont photopériodiques. Pour permettre l'annualisation et l'extension de



la culture du cotonnier dans des zones éloignées des tropiques avec une durée de jour plus longue, les sélectionneurs ont utilisé des types insensibles à la photopériode.

Le système racinaire est pivotant et la racine principale joue un rôle important dans la fixation de la plante et dans son alimentation en eau et en éléments minéraux.

La partie aérienne est constituée d'une tige principale monopodiale portant d'abord les deux nœuds cotylédonaire opposés sur la tige, puis des nœuds végétatifs avec ou sans développement de branche végétative. Enfin, les nœuds fructifères portant les branches fructifères sympodiales (en zigzag) apparaissent sur la tige. Chaque branche végétative peut elle-même porter des branches fructifères. Les branches fructifères portent directement les organes reproducteurs, ce sont les boutons floraux qui se développent en fleurs puis en capsules après la fécondation (figure 3.1 et planche couleur – photo 2).

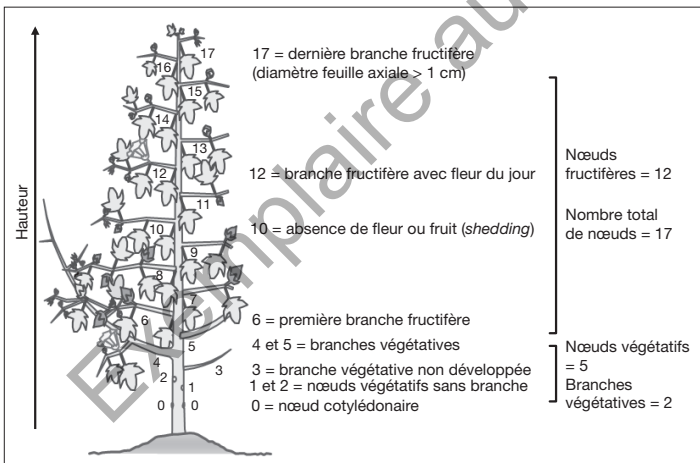


Figure 3.1.
Architecture d'un plant de cotonnier.

Les numéros de nœuds sont donnés à titre indicatif.

Comme les organes reproducteurs apparaissent alors que la plante continue de produire des parties végétatives, le cotonnier est dit à croissance indéterminée.

Tous les cotonniers portent sur leurs organes aériens des glandes terpénoïques appelées glandes à gossypol (figure 3.2a) qui les protègent des ravageurs. Ces composés terpénoïques sont toxiques pour les

mammifères monogastriques. Les graines ou les tourteaux obtenus après extraction de l'huile ne sont donc consommables que par les ruminants polygastriques (ovins, bovins, caprins) ou en quantité réduite par les volailles. Il existe des cotonniers sans glande à gossypol (dit *glandless* figure 3.2b) qui fournissent des tourteaux consommables par tous les animaux mais surtout des farines de complément protéinique de l'alimentation de base des populations locales. Leur avantage est également de pouvoir supprimer l'étape de dégossypolisation dans la production de l'huile par trituration des graines. Cependant, la culture de ces variétés *glandless* ne se pratique plus à cause de leur forte sensibilité aux ravageurs.

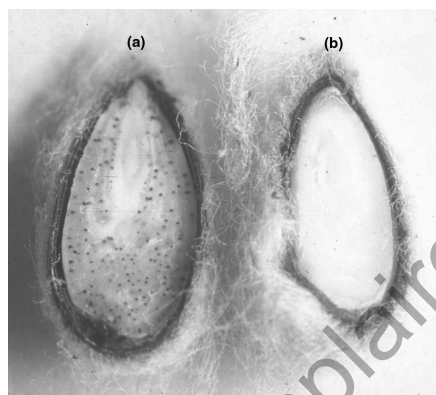


Figure 3.2.

Coupes de graine de coton
(a) avec gossypol, (b) sans gossypol.
(© Cirad)

La sélection variétale

La sélection variétale est à la base du succès de la culture cotonnière en Afrique, en interaction étroite, dès le départ, avec les agronomes, les entomologistes, les technologues et l'ensemble des acteurs de la filière dont principalement les agriculteurs et les sociétés cotonnières.

II Histoire de la sélection variétale en Afrique de l'Ouest et du Centre

Les premiers travaux de sélection ont débuté en 1927 au Congo belge (notamment avec les variétés 270 D64 et BAT) et en 1946 en Côte d'Ivoire (avec notamment les variétés ISA ou GL), en République centrafricaine et au Tchad (Demol, 1992; Dessauw et Hau, 2008). Puis, ils se sont étendus en 1947 au Mali (entre autres variétés N'TA) et au



Togo (variétés Mono, Hyfi de *G. barbadense* puis STAM de *G. hirsutum*), en 1959 à Madagascar et au Cameroun (variétés IRMA), en 1969 au Sénégal, en 1980 au Burkina Faso (variétés FK), et en 1988 au Bénin.

Au démarrage de ces programmes de création de variétés améliorées, adaptées aux conditions écologiques et culturelles de l'Afrique, différentes espèces et populations de cotonniers étaient cultivées sur le continent : *G. barbadense*, types Ishan du Nigeria ou Mono du Togo, et *G. hirsutum*, variétés Allen, N'Kourala et Triumph. Il fallait donc déterminer l'espèce qui convenait le mieux à l'environnement africain. Les insecticides n'existant pas encore et *G. barbadense* (variété Mono) étant naturellement plus résistante aux chenilles de la capsule, cette variété s'est imposée dans les zones à forte pression parasitaire en bordure de forêt, notamment dans les pays du golfe de Guinée. En Afrique centrale (Oubangui Chari, Tchad, Cameroun) et dans les zones de savane (Haute Volta, Soudan français), les génotypes *G. hirsutum* résistants à la bactériose (variétés Allen, N'Kourala) ou à fort rendement à l'égrenage (variété Triumph) ont été privilégiés.

Au milieu des années 1950, grâce à l'apparition du DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane), les variétés de *G. hirsutum* s'imposèrent définitivement au détriment des variétés de *G. barbadense*, de productivité aléatoire et de cycle plus long. Seul le Togo a maintenu la culture de *G. barbadense* jusqu'au début des années 1970.

Dans les années 1950, les généticiens ont privilégié un type de cotonnier (du genre *G. hirsutum*), assez végétatif, très florifère et de cycle relativement long. Le taux de chute des organes reproducteurs (*shedding*) est élevé, mais la mise en place progressive de la production a l'avantage de pouvoir fractionner la récolte manuelle. Surtout, ce type de cotonnier peut exploiter au maximum les capacités de compensation de la plante dans le cas de stress biotiques (attaques de ravageurs, maladies) ou abiotiques (sécheresse).

La pilosité des feuilles et des tiges est apparue très vite comme un caractère efficace de résistance contre les jassides. La résistance à la bactériose a été obtenue à partir des fonds génétiques Allen et N'Kourala. Leurs capsules sont petites, ce qui est corrélé avec un grand nombre de fleurs produites et des graines de petite taille, et aboutit à des rendements en fibre élevés.

Au milieu des années 1970, l'emploi des insecticides pyréthrinoïdes a permis un nouveau gain de productivité. Cette innovation a conduit à généraliser la recommandation des semis précoces, les premières

capsules soumises à la forte pression parasitaire des chenilles étant ainsi mieux préservées. La sélection variétale s'est alors orientée vers un raccourcissement du cycle de la plante.

Depuis la fin des années quarante, 90 génotypes différents ont été diffusés auprès des agriculteurs d'Afrique de l'Ouest et du Centre. Plusieurs obtentions ont marqué l'histoire de la culture cotonnière africaine ; le record de longévité est celui de la variété BJA 592 (22 ans de culture), et la variété ISA 205 est la plus cultivée sur une surface d'environ 4,3 millions d'hectares.

En Afrique, les zones climatiques recouvrent de très vastes régions et les variétés sont adaptées à de très larges étendues. Ainsi, BJA 592 a été cultivée au Tchad, en République centrafricaine, au Cameroun, au Bénin, au Burkina Faso, au Mali et au Sénégal. La plupart des variétés étaient échangées par les centres nationaux de recherche agronomique au sein d'un réseau coton initié par l'Institut de recherche du coton et des textiles exotiques (IRCT) puis du Cirad, en collaboration avec le Coraf (Conseil ouest et centre-africain pour la recherche et le développement agricoles). Ce réseau a favorisé les échanges variétaux, les expérimentations variétales multi-sites et multi-pays. Il a édité un catalogue variétal, organisé des réunions scientifiques et techniques. Inactif depuis la fin des années 1990, ce réseau pourrait voir son activité relancée au regard des apports passés et escomptés.

▮ La création variétale

La méthode de sélection et le type variétal vulgarisé sont déterminés par plusieurs facteurs dont le mode de reproduction de la plante, le déterminisme génétique et l'héritabilité des caractères d'intérêt. Le cotonnier étant une plante préférentiellement autogame, les variétés commercialisées sont le plus souvent des lignées pures. Des variétés hybrides sont néanmoins proposées (surtout en Asie) pour bénéficier de l'effet positif de l'hétérosis sur la productivité. Cependant, faute d'un système efficace de stérilité mâle et de restauration de fertilité chez le cotonnier, les opérations de castration et de fécondation doivent être réalisées manuellement. Cette contrainte renchérit le coût de production des semences.

Un programme de création variétale commence par des croisements simples (entre couples de parents) ou complexes (faisant intervenir un plus grand nombre de parents avant le début de la sélection).



Le plus souvent, une variété locale ou une lignée en cours de sélection est croisée avec une variété introduite possédant le ou les caractères que l'on cherche à améliorer dans le matériel local.

Les descendances des croisements simples (génération F1) sont génétiquement homogènes; elles ne sont pas utilisées pour effectuer une sélection individuelle. Seule une sélection des meilleures descendances F1 peut être opérée.

La sélection généalogique chez le cotonnier

La sélection de plantes individuelles peut commencer en génération F2. Mais elle peut aussi être reportée en génération F4 pour éviter de perdre trop rapidement la variabilité génétique sur les critères agronomiques (productivité, poids des capsules, précocité, etc.) qui ne peuvent être sélectionnés qu'à partir des expérimentations avec répétitions, soit en génération F5.

La méthode de sélection la plus simple est de mélanger l'ensemble des semences obtenues à partir des plantes F1 et de sélectionner les meilleures plantes dans les générations suivantes, c'est la sélection massale. Mais cette méthode, efficace depuis des millénaires et employée par les agriculteurs depuis le début de la domestication, a une portée limitée car il n'existe aucun lien statistique entre les sélections effectuées d'une génération à l'autre. De plus, la généalogie des plantes sélectionnées est perdue. On préfère donc individualiser les descendances d'un même croisement au cours des générations successives de sélection. C'est la sélection généalogique commune à de nombreuses espèces cultivées.

Les semences de chaque plante sélectionnée en F2 sont semées pour le cycle suivant sur une ligne et l'ensemble constitue la génération F3 (figure 3.3). De nouveau, une sélection de plantes individuelles est réalisée sur la génération F3. De la même façon, les semences descendant de chaque plante F3 sont semées pour le cycle suivant sur une ligne. Les plantes de la génération F4 suivent le même schéma. En génération F5, on considère que les descendances sont suffisamment homogènes pour que la sélection porte non plus sur des plants individuels mais sur les meilleures lignes, appelées lignées.

On dispose alors de lignées de génération F6 sur lesquelles les premiers essais avec répétitions sont conduits en station. Ils servent à évaluer les critères agronomiques de ces lignées en comparaison avec les variétés cultivées dans le pays (témoin). Au cours des deux années suivantes, les essais sont répétés sur plusieurs points d'expérimentation contrôlés

par la recherche. Puis pendant deux nouvelles années, les variétés sont testées d'abord en milieu semi-contrôlé par la société cotonnière, en suivant l'itinéraire technique recommandé, puis en milieu paysan en différents lieux en suivant l'itinéraire pratiqué par chaque producteur. Un questionnaire est soumis à chaque producteur pour connaître ses préférences variétales et les raisons de son choix.

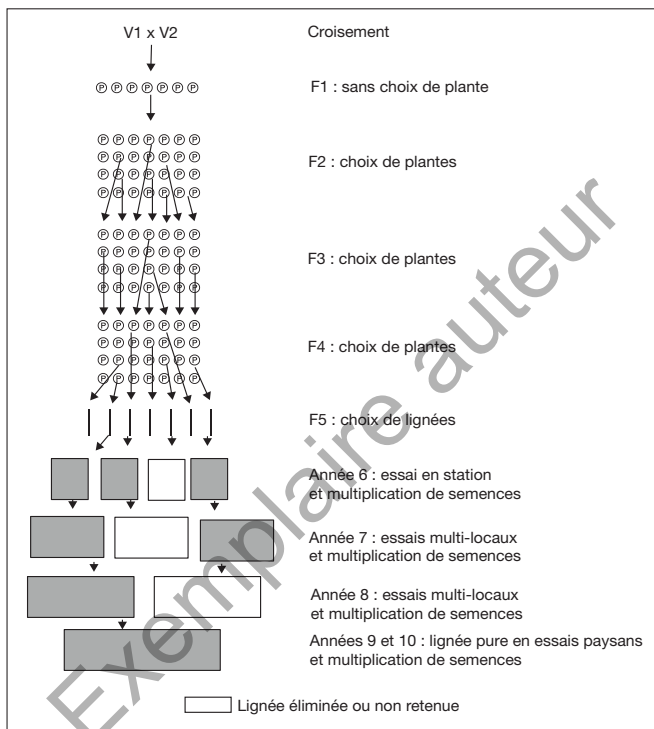


Figure 3.3. Schéma de sélection généalogique pour le cotonnier.

La sélection *backcross* chez le cotonnier

Parallèlement à la sélection généalogique, la méthode du *backcross* est utilisée pour introduire dans une variété déjà commercialisée des caractères dont on connaît le déterminisme génétique qui doit être simple. Il s'agit de résistances à des maladies comme la bactériose ou du caractère *glandless*, ou des constructions issues de la transformation génétique. Chez le cotonnier, seules deux anciennes variétés américaines peuvent produire des embryons somatiques en culture *in vitro*.



Après transformation d'une de ces variétés, les transgènes sont introduits dans les variétés modernes par la sélection *backcross* décrite dans la figure 3.4.

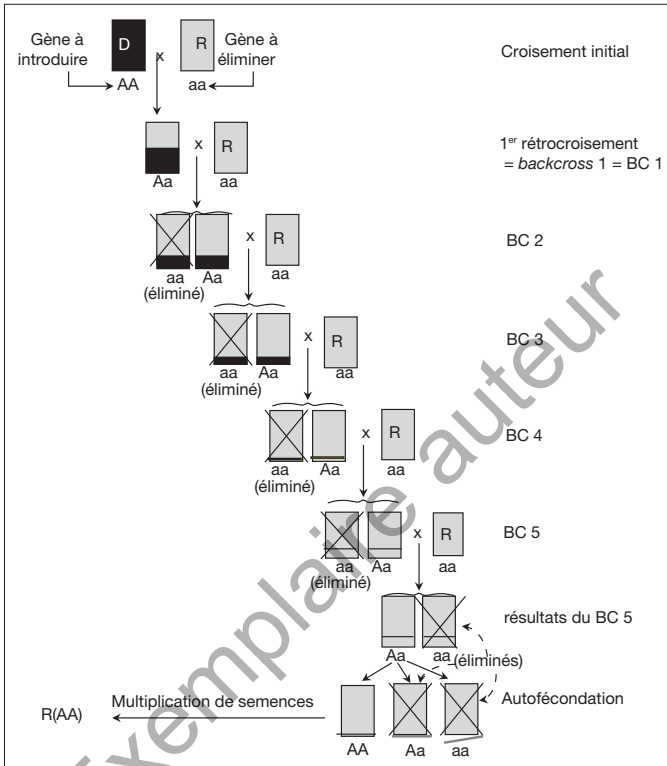


Figure 3.4.
Schéma de sélection *backcross*.

La variété receveuse moderne R est croisée par la variété donneuse du caractère à introduire D. La descendance est recroisée (*backcross*) comme parent femelle (pour ne pas perdre les gènes) par la variété receveuse pendant cinq générations. Puis, cette variété est autofécondée pour obtenir des plantes possédant deux copies des gènes introduits permettant ensuite de multiplier les semences de la variété améliorée sans risque de perdre le caractère. À chaque génération de rétrocroisement, les plantes ne possédant pas les gènes à introduire sont éliminées, soit par observation directe du phénotype s'il s'agit d'un caractère dominant, soit en passant par une génération supplémentaire produite par autofécondation des plantes rétrocroisées s'il s'agit d'un

caractère récessif. Cinq rétrocroisements sont considérés comme un nombre minimum pour retourner vers la variété d'origine (variété isogénique de R), surtout lorsque la variété donneuse est très éloignée de la variété R, comme dans le cas des variétés transgéniques africaines croisées avec des variétés donneuses américaines.

Une amélioration de l'efficacité des méthodes de sélection est apportée par la sélection assistée par marqueurs (SAM). Lorsque des marqueurs moléculaires (QTL ou *quantitative trait loci*) sont localisés sur les chromosomes au voisinage très proche des gènes d'intérêt (agronomique, technologique, etc.) à introduire et les encadrent sur le chromosome, cela permet de sélectionner rapidement les plantes porteuses de ces QTL et donc des segments chromosomiques porteurs des gènes d'intérêt sans avoir besoin d'évaluer les plantes au champ pour ces caractères. On parle de géotypage. Ensuite, les plantes complémentaires porteuses de gènes différents sont croisées entre elles pour aboutir à une plante possédant tous les gènes qui contrôlent les caractères à introduire, on parle de pyramidage. Lorsque le nombre de QTL est trop important ou lorsque les caractères sélectionnés sont liés négativement avec d'autres caractères importants, comme les caractères agronomiques et les caractères de qualité de la fibre par exemple, cette méthode est difficilement applicable.

▀ Les critères de sélection chez le cotonnier

Le cotonnier, cultivé à la fois comme plante industrielle et comme plante alimentaire, comprend de très nombreux critères de sélection regroupés ci-dessous par catégorie.

Critères agronomiques

Précocité

La précocité est recherchée en fonction des conditions environnementales ou de l'itinéraire technique. Lorsque les pluies ou les semis sont tardifs ou que la pression des ravageurs attaquant les organes reproducteurs est forte, la réduction du cycle de la plante et donc l'augmentation de la précocité sont recherchées. Ces critères sont évalués par plusieurs paramètres. Les paramètres bien corrélés avec la précocité de la plante sont :

- la durée entre la levée et l'apparition de la première fleur ;
- la durée entre la levée et la première capsule ouverte ;
- la durée entre la levée et la fin de récolte ;



- le nombre de nœuds végétatifs avant l'apparition du premier nœud fructifère ;
- le rapport entre le poids de coton-graine récolté vers 120 jours après semis et le poids de la récolte totale.

Rendement

Le rendement en coton-graine est le plus important critère de sélection car le producteur est rémunéré principalement en fonction du poids de sa récolte. Il est en revanche très peu héritable car très fortement influencé par les facteurs environnementaux et les itinéraires techniques mis en œuvre par les agriculteurs. Il est exprimé en kilogrammes de coton-graine par hectare.

Indice de récolte

L'indice de récolte est le rapport entre le poids sec du coton-graine récolté et le poids sec de la biomasse présente à la récolte (tiges, feuilles, carpelles et coton-graine). Il rend compte de l'efficacité de la production de la plante en mobilisant le moins possible d'éléments nutritifs. Ce caractère est intéressant pour les cultures cotonnières en Afrique qui restituent peu des éléments minéraux des tiges et des feuilles au sol.

Facilité de récolte

En récolte mécanisée, on recherche une floraison groupée sur le plant et une période de fructification la plus courte possible. En récolte manuelle, les agriculteurs préfèrent récolter peu de grosses capsules sans mucron qui s'ouvrent bien pour ne pas se piquer les doigts et souhaitent que le coton-graine se cueille facilement, mais sans tomber. Le poids moyen capsulaire est donc un facteur déterminant en récolte manuelle.

Adaptabilité des variétés

L'adaptabilité des variétés au changement climatique et aux itinéraires techniques très diversifiés des producteurs est explorée au cours de l'étude des interactions entre les génotypes, l'environnement et les itinéraires techniques. Il s'agit de définir de nouveaux critères de sélection. Des travaux sont en cours, notamment au Cirad.

Résistances aux stress

Résistance aux stress abiotiques

Les tolérances à la verse, à la sécheresse ou à la salinité sont des critères sélectionnés en fonction des conditions environnementales.

Résistance aux stress biotiques

L'introduction de résistances génétiques aux maladies dépend des maladies présentes dans les zones de culture. En Afrique, les maladies les plus courantes contrôlées par des gènes de résistance ou de tolérance sont la bactériose, la fusariose, la mosaïque et la maladie bleue. La bactériose et la fusariose peuvent être transmises par les graines.

La bactériose due à *Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum* présente de nombreuses races différentes dont la race 20 uniquement africaine. La résistance monogénique ou oligogénique est facile à sélectionner, mais plus aisément contournée par l'agent infectieux. La plupart des variétés cultivées en Afrique (groupe des variétés IRMA du Cameroun par exemple) possèdent deux gènes majeurs de résistance à cette maladie.

La fusariose est due au champignon *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*. Elle est plutôt présente dans les zones méridionales des pays du golfe de Guinée. Elle peut être associée à la présence de nématodes. La résistance des variétés aux races africaines de fusariose n'est pas totale mais elle est relativement stable.

La verticilliose, due à *Verticillium dahliae*, est présente dans les pays ayant une saison froide comme l'Afrique du Sud. Les variétés des pays concernés sont tolérantes à la verticilliose.

La frisolée africaine est un virus transmis par la mouche blanche *Bemisia tabaci* qui affecte peu *G. hirsutum*. Un gène dominant de résistance et plusieurs gènes modificateurs apportent une protection suffisante.

De même, la mosaïque est transmise par *B. tabaci* mais les variétés en Afrique de l'Ouest et du Centre sont résistantes.

La maladie bleue, transmise par le puceron *Aphis gossypii*, a pratiquement disparu d'Afrique grâce à une résistance bigénique présente chez *G. hirsutum*.

La psyllose est une maladie due à un mycoplasme transmis par les psylles, *Paurocephala gossypii*, et affecte surtout les pays d'Afrique australe comme le Mozambique.

Résistance aux insectes

Le plus souvent les caractères morphologiques sont défavorables à certains insectes et favorables à d'autres. La pilosité des feuilles et des tiges est favorable au contrôle des jassides, mais favorise la ponte des œufs des vers de capsule (planche couleur, photo 29). Les feuilles de



type okra (découpées ou laciniées) facilitent la pénétration des insecticides à l'intérieur du couvert végétal, mais favorisent l'enherbement si la densité de plantation n'est pas assez élevée.

Critères technologiques

Rendement en fibre à l'égrenage

Le rendement en fibre à l'égrenage est le pourcentage de fibre obtenue à l'égrenage (opération de séparation mécanique de la fibre et de la graine) par rapport au poids de coton-graine égrené. C'est un facteur économique important pour les égreneurs puisque la fibre est beaucoup mieux valorisée que la graine. La propreté de la récolte et le réglage des égreneuses influencent ce critère qui est principalement déterminé par la variété.

Technologie de la fibre

De nombreux critères de qualité de fibre sont sélectionnés. D'abord la sélection porte sur des critères intervenant directement dans le négoce du coton tels que la longueur de la fibre, l'indice micronaire qui rend compte à la fois de la maturité et de la finesse, la couleur (indice de jaune et réflectance). D'autres critères intéressent particulièrement les filateurs pour déterminer la finesse du fil produit ou pour limiter les casses de fil, qui sont un problème majeur avec l'utilisation de machines de plus en plus rapides. Ces critères sont l'uniformité de longueur, la finesse, la résistance et l'élasticité de la fibre. La maturité est quant à elle importante pour l'impression des textiles (voir chapitre 7).

Technologie du fil

La résistance et l'élasticité du fil, ainsi que la présence d'imperfections (neps, points fins, points gros, irrégularités) sont également des critères sélectionnés car importants en filature.

Technologie de la graine

Seed Index

Il est égal à la masse en grammes de 100 graines. Il est corrélé positivement au poids moyen capsulaire. Cependant, il est corrélé négativement avec le rendement égrenage. Les graines doivent être de taille supérieure à l'écartement des barreaux des égreneuses pour éviter qu'elles se retrouvent dans la fibre et la polluent par des matières huileuses et exogènes.

Capacité et vigueur germinative

Ces paramètres sont importants lorsque la graine est utilisée comme semence.

Taux de linter

C'est le pourcentage de linter présent sur le tégument de la graine après égrenage. Le délantage est réalisé soit mécaniquement, soit par brûlage, soit chimiquement avec de l'acide sulfurique concentré. Ce critère est important lorsque la graine est utilisée comme semence pour des semis mécaniques car plus le linter est important plus il faudra employer d'acide pour le délantage.

Taux d'huile

Il permet de valoriser la graine, l'huile étant soit consommée localement en Afrique, soit exportée pour une utilisation en conserverie des aliments.

Taux de protéines

Ce taux est important à considérer dans le cas des variétés *glandless* dont les protéines sont utilisées pour l'alimentation humaine.

▮ Diffusion des variétés et production de semences de qualité

La production de semences fait partie des trois éléments importants de la législation sur les semences et les variétés (tableau 3.2). Ces législations sont mises en place dans la plupart des pays européens et se mettent en place progressivement dans de nombreux pays africains.

La production de semences a un double objectif : maintenir la variété à l'identique dans toutes ses caractéristiques (c'est la sélection conservatrice) et diffuser la variété auprès des agriculteurs qui souhaitent la cultiver (c'est la multiplication de semences). La certification vise à garantir la qualité de la semence qui sera distribuée aux agriculteurs.

En Afrique, le cotonnier, en tant que culture industrielle, dont la filière est plus ou moins organisée, déroge à cette règle, même dans les pays qui ont mis en place une législation. La plupart du temps, les variétés de cotonnier n'ont pas l'obligation d'être inscrites au catalogue national et les semences ne sont pas certifiées par un service officiel de contrôle mais auto-certifiées par les sociétés productrices, ce qui peut conduire à des dérives. Les semences sont pourtant le premier intrant fourni



Tableau 3.2. Résumé de la législation en vigueur pour la protection des créations variétales.

	Variétés Protection	Variétés Homologation	Semences Certification
Législation	Protection des obtenteurs Droit public Droit privé	Protection des utilisateurs, Droit public	Protection des utilisateurs, Droit public
Contrainte	Facultative	Obligatoire	Obligatoire
Épreuves	Distinction, Homogénéité et Stabilité (DHS)	Distinction, Homogénéité et Stabilité + Valeur agronomique et technologique (VAT)	Inspections et contrôles
Sanction	Certificat d'obtention végétale (Cov)	Inscription catalogue	Certification
Organismes internationaux	Upov-OAPI-Aripo	CEDEAO	ISTA-OCDE, Cils - UEMOA

aux producteurs et peut-être le plus important pour la réussite de la campagne cotonnière. En Afrique, le coût des semences est déduit du prix d'achat du coton-graine lors du paiement de la récolte. Le producteur ne connaît pas vraiment sa valeur réelle et n'est pas sensibilisé à l'usage approprié de cet intrant. Et dans la plupart des pays africains, le choix variétal ne lui incombe pas. Il ne peut pas acheter la semence où il le désire et n'est donc pas en mesure de faire jouer la concurrence, puisque la société cotonnière fournit les semences. Il est donc primordial qu'il reçoive une semence de qualité lui permettant d'assurer une bonne implantation de la culture et une densité satisfaisante.

Le paiement par le producteur d'une semence de qualité à son juste prix serait bénéfique à toute la filière et le coût resterait modique par rapport aux autres intrants (de l'ordre de 6 000 Fcfa / ha en Afrique de l'Ouest et du Centre pour une semence pure délintée et traitée avec plus de 70 % de germination). Ainsi, les producteurs de coton seraient sensibilisés à la valeur économique et technique de la semence, il revient par conséquent aux entreprises semencières ou aux sociétés cotonnières d'investir dans la production de semences de qualité.

Les catégories de semences

Les différentes catégories de semences de cotonnier et leurs caractéristiques sont fournies dans le tableau 3.3.

Tableau 3.3. Description des catégories de semences pour le cotonnier.

Catégorie	Génération	Description	Étiquette
Matériel initial ou parental	G_0	Permettant d'assurer la sélection conservatrice	Blanche barrée violet
Semences de pré-base	G_1 à G_3 maxi	Entre le matériel initial et les semences de base	
Semences de base	G_3 ou G_4	Pour la production de semences certifiées	Blanche
Semences certifiées	R_1	De 1 ^{re} reproduction	Bleue
	R_2	De 2 ^e reproduction	Rouge

Chaque génération est semée avec les semences produites lors de la génération précédente, jamais avec celles issues de la même catégorie et encore moins avec les semences issues de catégories inférieures (voir tableau 3.3). En revanche, il est possible de déclasser les semences d'une catégorie en catégorie inférieure en cas de nécessité. La production de graines à partir de la R_2 ne peut pas donner de semences certifiées (Crétenet *et al.*, 2006).

Le matériel de départ et les semences de pré-base et de base sont produits sous la responsabilité de l'obteneur de la variété. Le stock de semences du matériel de départ (G_0) est reconstitué lorsqu'il n'y a plus suffisamment de semences pour la production de la G_1 . Si l'on possède des moyens de stockage de semences en chambre froide (température de 5°C et 40 % d'humidité relative), il n'est pas nécessaire de reproduire la G_0 chaque année. Pour constituer le stock de semences G_0 , une centaine de plants conformes pour tous les caractères morphologiques au type variétal sont prélevés au hasard dans la parcelle isolée de l'obteneur servant à la production de la G_1 à partir de G_0 . Les fleurs des plants sélectionnés au champ sont autofécondées pour éviter les croisements avec des plants non retenus. Ensuite un contrôle sur les critères d'égrenage et de qualité technologique permet de ne garder que les semences des plants conformes à la variété de départ pour toutes les caractéristiques. Enfin, les descendances des plants retenus sont cultivées en lignes (la semence autofécondée récoltée sur un plant est semée sur une ligne) et contrôlées individuellement pour révéfier la conformité avec le type variétal de départ. Toute non-conformité et toute descendance hétérogène entraîne l'élimination complète de la ligne et ainsi que la destruction des graines du plant ayant donné cette descendance.



Le plan semencier

Pour assurer la production de semences en quantité suffisante pour couvrir les besoins, il est essentiel d'élaborer un plan semencier à partir des besoins à couvrir avec la dernière génération de semences (par exemple, la R_2), selon les prévisions de mise en culture à 5 ou 6 ans.

Exemple d'estimation 1 : si pour semer 1 hectare, il faut 25 kg de semences (resemis compris) et 1 hectare de multiplication produit 1 000 kg de coton-graine soit environ 500 kg de semences, alors le coefficient de multiplication est de $500 / 25 = 20$. Cela signifie qu'entre une génération et sa suivante on multiplie par 20 la surface de multiplication (tableau 3.4).

Tableau 3.4. Schéma de multiplication de semences de cotonnier.

Coefficient de multiplication	Génération	Surface plantée (ha)	Semence nécessaire pour atteindre l'objectif (t)	Semence récupérée (t)
20	En R_2 , l'objectif est de planter 300 000 ha - obtenu dès R_1	300 000	7 500	-
	En R_1 , on doit donc disposer de :	15 000	375	7 500
	En G_4 , on doit donc disposer de :	760	19	375
	En G_3 , on doit donc disposer de :	40	1	19
	En G_2 , on doit donc disposer de :	2	0,05	1
	En G_1 , on doit donc disposer de :	0,1	0,0025	0,05
30	En R_1 , on doit donc disposer de :	300 000	7 500	-
	En G_4 , on doit donc disposer de :	10 000	250	7 500
	En G_3 , on doit donc disposer de :	333	8	250
	En G_2 , on doit donc disposer de :	11,1	0,27	8
	En G_1 , on doit donc disposer de :	0,36	0,009	0,27

Exemple 2 : si le coefficient de multiplication augmente à 30, correspondant à un rendement en coton-graine de 1500 kg/ha (meilleure fertilité que dans l'autre cas), alors les surfaces de multiplication nécessaires diminuent (tableau 3.4) ainsi que le coût de production de la semence.

Dans la pratique, le coefficient de multiplication est plus élevé pour les premières générations produites sur de petites surfaces sous contrôle de l'obteneur puisque le rendement est plus élevé et qu'il est conseillé de semer moins de graines à l'hectare. En effet, pour accélérer la mise à disposition d'une nouvelle variété auprès des agriculteurs, il vaut mieux diminuer les quantités semées à l'hectare (10kg de semences délintées dans les premières générations), au risque de diminuer la densité de plantation et le rendement, mais permettant d'atteindre un coefficient de multiplication plus élevé, en profitant également de la capacité de compensation du cotonnier dans l'espace. En effet, un poquet avec un ou deux plants produit pratiquement autant, néanmoins le développement végétatif plus important des plants peut également retarder la récolte. Le coefficient diminue au fur et à mesure des générations et de l'augmentation des surfaces, car il est de plus en plus difficile de trouver dans une même région un grand nombre d'agriculteurs performants et des sols très fertiles.

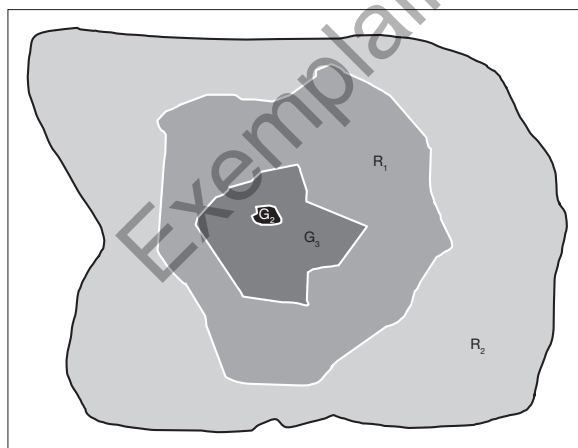


Figure 3.5.
Exemple
d'imbrication
des différentes zones
de multiplication.

Précautions techniques pour la production de semences de qualité

Pour éviter une baisse de la qualité de la semence, des précautions sont à prendre à chaque étape de la production. Les multiplications doivent être concentrées dans une même région pour faciliter l'isolement par



variété et par catégorie. La région concernée doit être facile d'accès en toute saison, sans prévalence d'aléas climatiques ni de maladies transmissibles par les semences (bactériose, fusariose, etc.) et avec des sols fertiles et drainants, sans risque d'inondation. Il est conseillé de réaliser les multiplications en zones concentriques avec les catégories supérieures au centre, puis les catégories inférieures (voir tableau 3.3) les entourant progressivement (figure 3.5). Les agriculteurs doivent être performants, appliquer l'itinéraire technique spécifique adapté à la production des semences, et notamment ne pas cultiver une autre variété ou une autre génération sur l'exploitation, choisir des parcelles suffisamment grandes (environ 0,5 ha) et n'ayant pas reçu de cotonnier depuis plus d'un an, éliminer les plants hors types ou malades (Turner, 2013), contrôler strictement les ravageurs et les mauvaises herbes, récolter précocement un coton-graine sec (12% d'humidité au maximum) et le stocker à l'abri.

La collecte du coton-graine semencier doit être réalisée rapidement et évacuée vers l'usine d'égrenage. Le coton-graine doit être stocké sur des aires ou dans des magasins propres et protégés, dévolus uniquement au coton-graine semencier. Le coton-graine semencier est égrené en dehors des périodes d'égrenage du coton-graine commercial, par variété et par catégorie de semences dans l'ordre suivant :

$$G_2 \Rightarrow G_3 \Rightarrow G_4 \Rightarrow R_1 \Rightarrow R_2$$

En effet, il importe peu que des graines d'une catégorie supérieure passent avec les graines d'une catégorie inférieure. Les égreneuses sont complètement nettoyées entre chaque variété et la vitesse d'égrenage est réduite pour ne pas endommager les graines. À chaque changement de variété, les 4 premiers sacs de graines sont éliminés pour éviter les mélanges résultant des quelques graines qui subsistent toujours dans les machines, les coudes de tuyauteries, etc. Les semences des variétés OGM doivent être égrenées dans des usines différentes des usines égrenant les variétés conventionnelles.

Les semences doivent ensuite être stockées en sacs perméables, au sec, dans des magasins propres, protégés des ravageurs et ventilés. Chaque lot est parfaitement identifié avec un numéro et son origine (variété, catégorie, année, région de production...). Si la semence est destinée à être délintée, un test de germination est réalisé avant le délintage pour éviter de délinter des lots de mauvaise qualité germinative. Le délintage permet de trier les semences mais n'est vraiment nécessaire qu'en cas de semis mécanisé. Il présente un coût financier et environnemental (pollution par l'acide et la solution de rinçage) non négligeable.

Certification de semences

Les contrôles par les services officiels de l'État ou de la société cotonnière doivent être effectués au hasard dans les parcelles de multiplication (sur des placettes de 10 à 30 m² selon la catégorie avec notation de la présence de plants hors types, de symptômes de maladies, de mauvaises herbes, des distances d'isolement, de l'évaluation de la production des parcelles), ainsi que dans les usines d'égrenage et au moment du stockage. Les normes réglementaires OCDE sont données dans le tableau 3.5.

Tableau 3.5. Normes OCDE pour les semences de cotonnier.

Catégorie	Pré-base et base	Certifiée	
		R ₁	R ₂
Taille minimale des parcelles (ha)	0,5	2	2
Nombre d'années sans cultiver la même espèce sur la même parcelle	1	1	1
Isolement (minimum en mètres)	50	40	30
Plantes d'autres variétés (maximum)	1 / 30m ²	1 / 10m ²	1 / 10m ²
Plantes d'autres espèces cultivées (maximum / ha)	0	1	3
Plantes infestées (maximum / ha)	50	100	500
Pureté spécifique (% minimum)	98	98	98
Matière inerte (% maximum)	2	2	2
Pureté variétale (% minimum)	99,9	99,8	99,7
Graines d'autres variétés identifiables en laboratoire (maximum pour 1 000)	0,05	0,1	0,3
Graines d'autres espèces (maximum /kg)	0	2	2
Graines d'adventices	0	0	0
Germination (% minimum)	-	80	80
Teneur en eau (% maximum)	10	10	10

L'International Seed Testing Association (ISTA) définit les conditions de réalisation des tests en laboratoire et les méthodes d'échantillonnage. Notamment, il faut prélever les échantillons de graines à intervalles régulier tout au long du processus d'égrenage, de délitage ou d'ensachage. Dans les sacs de semences, une seule prise par lot avec sonde doit être réalisée périodiquement pendant le stockage et surtout avant la distribution aux agriculteurs pour suivre l'évolution de la qualité de la semence.



Pour le cotonnier, les critères retenus sont les suivants.

Faculté germinative. La faculté germinative est égale au pourcentage de plantules normales pour 4 échantillons de 100 graines pures, mises à germer entre des feuilles de papier buvard ou sur sable stérilisé, avec alternance de températures 20°C durant 16 heures à l'obscurité / 30°C durant 8 heures à la lumière ou à température constante 25°C durant 16 heures à l'obscurité, puis 8 heures à la lumière. Les températures sont mesurées au niveau des graines et ne doivent pas varier de plus de 1°C; le premier comptage est effectué à 4 jours, le dernier comptage à 12 jours.

Teneur en eau. La teneur en eau est mesurée de la façon suivante : sur 10 graines minimum, broyage grossier (10 % du poids restant au-dessus d'un tamis de maille 4 mm), passage à l'étuve à 103°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) pendant 17 heures, puis pesée à température ambiante de 2 échantillons. L'écart de teneur en humidité entre les deux échantillons doit être inférieur à 0,2 %.

Pureté spécifique. La pureté spécifique est mesurée sur 350 graines minimum, après séparation des matières inertes (graines mutilées de taille inférieure à la moitié de la graine normale, débris végétaux, sable, cailloux, ...), des graines étrangères et des semences pures. Chaque constituant est identifié et pesé pour obtenir des pourcentages du poids total.

Contrôle sanitaire. Il comprend des tests de mycologie, bactériologie, virologie, nématologie, et des tests de résistance.

Dénombrement des graines étrangères. Sur 1000 graines minimum, sont recherchées les graines étrangères d'espèces nuisibles.

Protection des variétés

En réalité, il s'agit de la protection des droits de propriété intellectuelle des obtenteurs de la variété. Excepté pour certains pays comme les États-Unis, l'Australie et le Japon, les variétés végétales ne peuvent pas être protégées par brevet. Seuls les transgènes sont protégés par brevet et il est impossible de semer une variété possédant un transgène sans l'accord du propriétaire de celui-ci. En général, il s'ensuit la signature d'un contrat, stipulant l'interdiction de semer le produit de la récolte de cette variété, et le paiement de redevances.

Les variétés végétales sont protégées par un certificat d'obtention végétale ou Cov (tableau 3.2). Les différences entre Cov et brevet proviennent essentiellement des exemptions que permet de droit le

Cov et qui sont interdites par le brevet sans accord du propriétaire, c'est-à-dire : l'accès libre à la variété protégée pour l'expérimentation, la formation et la sélection de nouvelles variétés. Seul le brevet européen prévoit les exemptions. De plus, si la législation nationale l'autorise, le Cov permet de ressemer sur son exploitation le produit de sa récolte (semences de ferme) avec ou sans rémunération de l'obteneur : avec rémunération dans l'Union européenne, mais sans rémunération à l'OAPI (Organisation africaine de la propriété intellectuelle). C'est ce que l'on appelle le système Upov (Union internationale pour la Protection des Obtentions végétales) dont plus de 70 pays ou associations régionales sont membres.

L'OAPI a adopté une loi régionale valable pour les 17 pays membres et qui est en conformité avec la Convention Upov de 1991. L'*African Regional Intellectual Property Organization* (ARIPO) travaille à l'harmonisation des législations dans les 19 pays membres et s'oriente également vers le système des Cov. Par contre, l'adoption d'une réglementation commune aux pays n'est pas envisagée pour l'instant (figure 3.6).

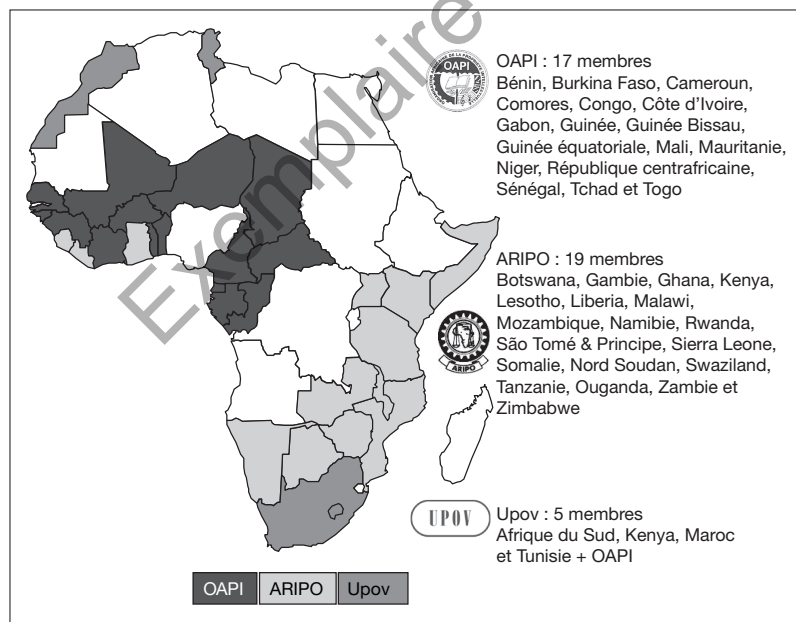


Figure 3.6.

Les organisations régionales de protection des variétés en Afrique (pour toutes les espèces).



Pour être protégeable, une variété doit satisfaire les conditions de nouveauté, distinction, homogénéité, stabilité, dénomination adéquate.

Nouvelle : la variété n'a jamais été proposée à la vente ou remise à des tiers par l'obteneur ou avec son consentement sur le territoire où est déposée la demande de protection depuis plus d'un an et sur un autre territoire depuis plus de 4 ans.

Distincte : la variété est distincte des variétés notoirement connues par un ou plusieurs caractères phénotypiques importants.

Homogène : les individus se ressemblent pour les caractères de distinction.

Stable : la variété est conforme à sa description de génération de multiplication en génération de multiplication.

Dénomination adéquate : l'identification de la variété ne doit pas induire en erreur ou prêter à confusion.

Les tests DHS (distinction, homogénéité, stabilité) sont réalisés sur deux années. La première année permet de tester la conformité de la description de la variété fournie par l'obteneur, la distinction et l'homogénéité. La seconde année sert essentiellement à tester la stabilité en utilisant les semences produites lors de la première année.

Les Cov sont accordés pour 25 ans au maximum mais l'obteneur peut abandonner son titre à tout moment. L'obteneur ou le mainteneur de la variété ont l'obligation de maintenir la variété conforme à sa description et homogène et stable pendant toute la durée de la protection, sous peine de perdre le Cov. La Convention Upov de 1991 prévoit que les variétés essentiellement dérivées (c'est-à-dire non suffisamment distinctes de la variété protégée comme les variétés transgéniques) sont dépendantes de l'accord du propriétaire du Cov pour être commercialisées. Ces règles sont communes à la plupart des espèces. Ce qui distingue chaque espèce, c'est le descripteur officiel fourni par l'Upov qui permet de décrire chaque variété selon des règles spécifiques.

Inscription des variétés au Catalogue officiel

L'inscription au Catalogue officiel des espèces et variétés végétales est une homologation de la variété autorisant sa culture et sa commercialisation dans le pays concerné.

Les pays africains qui éditent un catalogue variétal sont de plus en plus nombreux, mais souvent ces catalogues ne concernent que les espèces vivrières. Ainsi la Cedeao (Communauté économique des États de

l'Afrique de l'Ouest), le Cilss (Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse dans le Sahel) et l'UEMOA (Union économique et monétaire ouest-africaine) se sont associés pour éditer un catalogue régional pour l'Afrique de l'Ouest, qui est la compilation des catalogues nationaux. Les cultures industrielles ou de rente, comme le cotonnier, seront concernées dans un deuxième temps, après la mise en place du catalogue pour les principales espèces vivrières, pour des raisons d'homogénéité et d'organisation. Normalement, ce choix se fait par consensus entre les différents acteurs.

Pour être inscrite au Catalogue officiel, une variété doit être conforme aux exigences de DHS et éventuellement apporter un progrès par rapport aux variétés déjà cultivées.

Conformité aux exigences de DHS (distincte, homogène, stable) : comme pour la protection par COV. Ce sont les mêmes tests réalisés par les mêmes centres d'examen, bien que protection (facultative) et inscription au Catalogue (obligatoire pour certaines espèces) soient indépendantes.

Apporter un progrès par rapport aux variétés déjà cultivées : pour certaines espèces, dont les espèces de grande culture, c'est la valeur agronomique et technologique (Vat), nommée aujourd'hui Vate en Europe (avec «E» pour environnementale). Les tests sont conduits sur deux années. La première année, les variétés sont éliminées pour des défauts de DHS ou pour des caractères importants comme le rendement inférieur à la moyenne des témoins ou la sensibilité à une maladie grave. En seconde année, les index sont construits par rapport à la moyenne des témoins sur l'ensemble des critères étudiés les deux années (rendement, résistances aux maladies, précocité de floraison, verse, etc.).

Pour le cotonnier il serait aisé de constituer un catalogue variétal et de proposer des règles de décision pour la Vat (tableau 3.6) comme suit.

En 1^{re} année, sont évalués le rendement en coton-graine, le rendement fibre à l'égrenage et la résistance aux maladies d'importance économique majeure (bactériose). La décision est : si le rendement en coton-graine est supérieur à 100 % de la moyenne des témoins, l'espèce passe en 2^e année sinon il y a refus de Vat.

En 2^e année, les mêmes critères sont testés ainsi que la résistance aux maladies d'importance économique moyenne et, à la demande des déposants, la tolérance ou résistance à des maladies spécifiques pour lesquelles la variété serait déclarée résistante ou tolérante.



Tableau 3.6. Détermination de la valeur agronomique et technologique pour établir une décision finale dans le cas du cotonnier.

Critères	Règle de décision : moyenne des 2 années de tests
Rendement en coton-graine	R1 : % du rendement moyen de la variété sur le rendement moyen des témoins
Rendement égrenage scies	R2 : écart entre la moyenne de la variété et la moyenne des témoins cultivés
Résistance aux maladies d'importance majeure	Moyenne supérieure à la moyenne la plus faible des témoins cultivés
Longueur de la fibre	L1 : supérieure à 30 mm et écart par rapport à la moyenne des témoins
Verse, maladies d'importance moyenne	S1 somme des écarts entre la variété et la moyenne des témoins = note positive ou négative
Micronaire de la fibre	Entre 3,7 et 4,4
Seed-Index de la graine	Supérieur à 8 g
Uniformité de longueur, ténacité et maturité de la fibre	S2 : somme des écarts entre la variété et la moyenne des témoins (note positive ou négative)

Chaque année, sont évalués la précocité d'ouverture des capsules (lorsque le nombre de capsules ouvertes est supérieur ou égal à la moitié du nombre de plants présents), la verse, les caractéristiques technologiques de la fibre sur une chaîne de mesures intégrée (longueur, uniformité, ténacité, micronaire, colorimétrie) et le *Seed-Index*.

$$\text{Index global} = R1 - 100 + R2 + L1 + S1 + S2$$

Pour être inscrite au Catalogue, la variété doit avoir un index global supérieur à 1, des valeurs de résistance aux maladies, de longueur de fibre, de *Seed Index* supérieures aux seuils et un indice micronaire compris entre 3,7 et 4,4.

Conclusion

La création de nouvelles variétés, apportant une amélioration par rapport aux variétés cultivées, est un long processus faisant appel à des disciplines et à des acteurs nombreux et en interaction : c'est l'interaction géotypes × environnements × acteurs. Les critères de sélection sont nombreux chez le cotonnier et les progrès se font par paliers en

améliorant un ou deux caractères sans perdre sur les autres à chaque nouvelle création puis en améliorant un ou deux autres caractères à la variété suivante et ainsi de suite.

L'environnement climatique, foncier, législatif et les itinéraires techniques appliqués par les agriculteurs évoluent en permanence. Les sélectionneurs doivent s'adapter à ces changements mais surtout les anticiper pour que les variétés qu'ils créent soient toujours en phase avec les besoins de chacun des acteurs de la filière. C'est la raison pour laquelle les sélectionneurs sont à l'intersection de toutes les disciplines scientifiques.

L'extension de la culture de variétés transgéniques de cotonnier est l'une des évolutions majeures de ces dernières années et se poursuit. En effet, la culture des OGM devrait s'étendre sur le continent africain. L'intégration du cotonnier sur les listes de variétés du Catalogue des espèces et variétés cultivées devrait également se généraliser progressivement en Afrique de l'Ouest et du Centre et en Afrique anglophone grâce à l'action des associations économiques régionales. Enfin, les multinationales semencières et biotechnologiques devraient intégrer la sélection de variétés adaptées aux conditions africaines dans leurs programmes de recherche ce qui, étant donné leurs capacités techniques et financières, devrait réduire la part des variétés cultivées produites par les centres nationaux de recherche agronomique.



4. Potentialités du milieu, rendement et qualité en culture cotonnière

Potentialités des savanes cotonnières africaines

Michel Crétenet

On a coutume d'évaluer les potentialités d'un milieu à travers le rendement d'une culture en distinguant :

- les potentialités théoriques (PT) qui ne tiennent compte que de l'énergie lumineuse ;
- les potentialités culturales qui font référence à la mise en place du couvert végétal en lien notamment avec les températures ;
- les potentialités agricoles qui prennent en compte les autres facteurs climatiques notamment les pluies, les sols, les ravageurs, et les moyens techniques mis en œuvre.

Ainsi, les rendements les plus élevés des parcelles paysannes dans une zone de production correspondent au potentiel agricole de cette zone. Les potentialités agricoles des savanes africaines pour les variétés actuellement cultivées sont de l'ordre de 3000 à 3500 kg/ha de coton-graine, soit 1200 à 1400 kg/ha de fibre. Nous allons décrire ici le contexte des cultures cotonnières africaines, avant d'explorer les moyens d'améliorer le rendement et la qualité de la production dans ce contexte.

▮ Facteurs climatiques

Températures

Comme pour la plupart des plantes cultivées, la durée du cycle du cotonnier dépend de la variété, mais elle reste essentiellement déterminée par les températures. L'échelle de temps thermique est exprimée en degrés jours (°J). Cela correspond à la somme des températures moyennes journalières diminuées de la température de base, température en deçà de laquelle la plante ne se développe pas ; elle est de 13°C pour le cotonnier.

La température rythme le développement de la plante (figure 4.1) :

- apparition du premier bouton floral à 350°J;
- première fleur entre 750 et 800°J;
- ouverture de la première capsule entre 1 100 et 1 200°J.

Pour accomplir l'ensemble de son cycle de végétation, les besoins en températures du cotonnier sont de l'ordre de 1 500°J. Avec une température moyenne relativement constante de l'ordre de 25°C en Afrique tropicale, le cotonnier en culture pluviale accomplit l'ensemble de son cycle en 5 mois environ, 125 à 150 jours après le semis, si la durée de la saison des pluies est suffisamment longue.

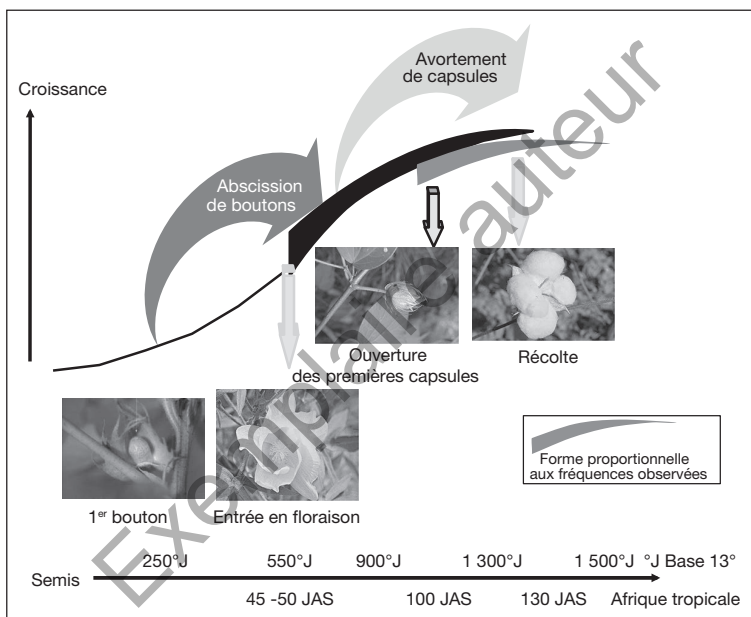


Figure 4.1.

Les différentes phases du cycle du cotonnier exprimé en degrés jours. (© Cirad)

Le temps exprimé en degrés jours est calculé de la manière suivante :

$$\left(\frac{\text{température max} + \text{température min}}{2} - 13 \right)$$
 pour le cotonnier.

En faisant leur somme chaque jour, on obtient des valeurs indicatives du développement de la plante et de ses organes.

Pluviométrie

Du fait du caractère indéterminé de la croissance du cotonnier, c'est-à-dire de la concomitance de la croissance des organes végétatifs et du développement de la plante (apparition de nouveaux organes



fructifères), la fin du cycle de culture est déterminée par une situation de stress :

- le stress hydrique correspondant à la fin de la saison des pluies (en conditions pluviales tropicales par exemple) ;
- le stress thermique correspondant à la baisse des températures (en conditions méditerranéennes par exemple).

C'est ainsi qu'en conditions tropicales sous irrigation, on induit en général un second cycle de fructification du cotonnier en prolongeant le cycle de la culture par des apports d'eau. En culture pluviale, l'occurrence de pluies tardives éventuellement associées à des techniques limitant l'évaporation d'eau du sol, retarde la fin du cycle de végétation du cotonnier. Ce type de production appelé « production de tête », est celle des capsules mises en place tardivement sur le plant. Ainsi, le temps qui s'écoule de la levée à la fin de la saison des pluies est celui du temps de fonctionnement de la plante. C'est aussi ce que l'on dénomme « la durée utile des pluies » ; cette durée est déterminante pour le rendement de la culture (figure 4.2). Elle correspond à l'effet de la date de semis, ce qui se traduit par une perte de 25 à plus de 50 kg/ha de coton-graine par jour de retard du semis selon la fertilité du sol.

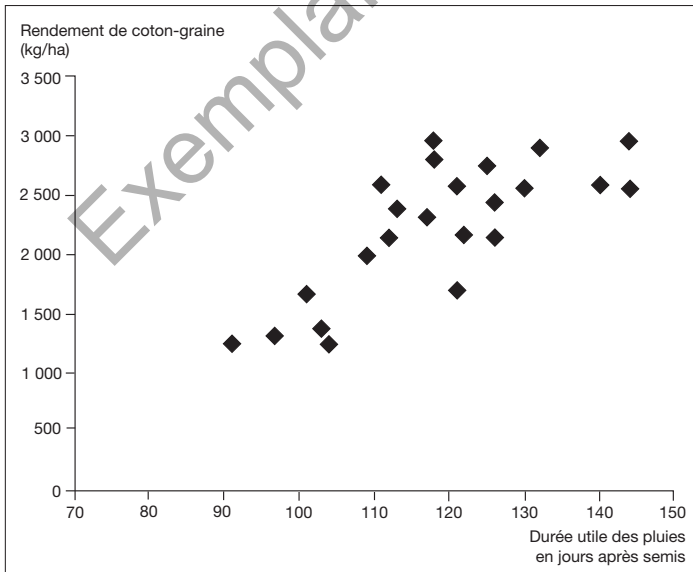


Figure 4.2.

Effet de la durée utile des pluies (Essai OM N'Tarla Mali 1965-1990).

Rayonnement

La croissance, comme produit de l'activité photosynthétique, est essentiellement déterminée par la quantité de lumière interceptée par les feuilles. La potentialité théorique (PT) à l'échelle d'une zone de production correspond à la relation entre l'énergie lumineuse interceptée par un plant de cotonnier et sa biomasse. Cela suppose que le rapport entre la surface foliaire et la surface au sol ou LAI (*Leaf Area Index*, indice de surface foliaire égal au rapport de l'aire de la surface foliaire sur l'aire de la surface au sol) atteigne une valeur voisine de 5, c'est-à-dire que les feuilles aient une surface 5 fois supérieure à la surface au sol. En deçà de cette valeur, une partie (> 5%) du rayonnement global n'est pas interceptée par le couvert végétal (figure 4.3).

La densité de semis est le principal facteur permettant d'augmenter sensiblement le LAI en culture pure. Les cultures associées ou en dérobée (niébé, arachide, maïs...) du cotonnier valorisent la partie du rayonnement qui n'est pas interceptée par le cotonnier, culture principale. Ces systèmes de culture traditionnels associant plusieurs cultures sont pratiqués dans les zones à pluviométrie bimodale, comme au sud du Togo et du Bénin.

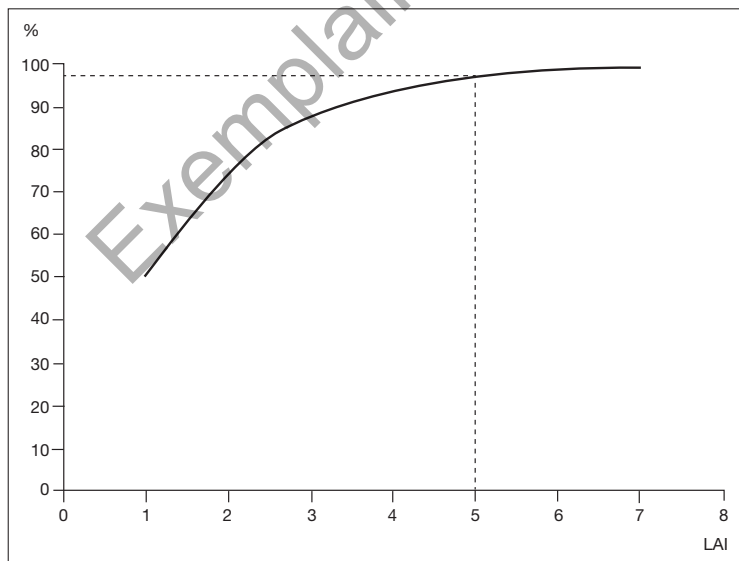


Figure 4.3.
Pourcentage de rayonnement intercepté en fonction du LAI
chez le cotonnier.



Facteurs édaphiques

Le sol contribue au processus de production à travers différentes fonctions : comme support physique des plantes, réserve en eau et en éléments minéraux pour l'alimentation hydrique et la nutrition minérale de la culture (figure 4.4). Ces fonctions contributives au processus de production s'inscrivent dans les composantes physique, chimique et biologique de la fertilité du sol.

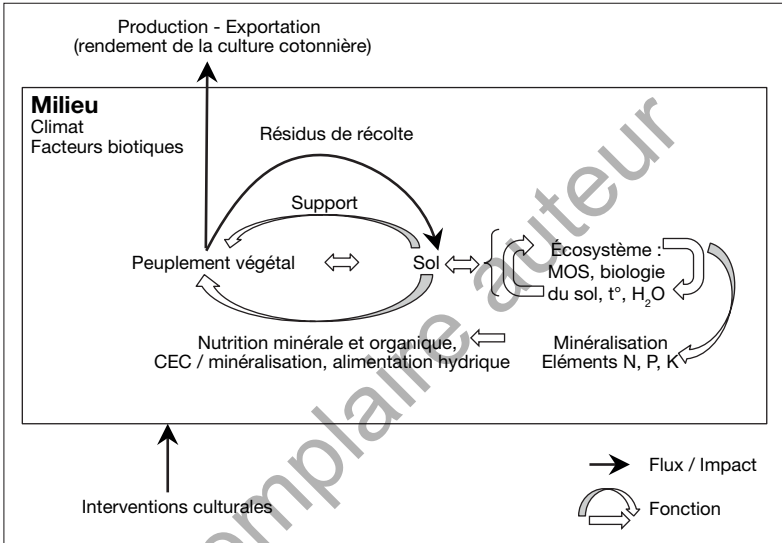


Figure 4.4.

Processus de production et fertilité du sol en production cotonnière.

Le rendement (observé au terme du processus de production) est relié à la matière organique du sol (MOS), à la fois facteur de production par sa contribution aux fonctions correspondant à la fertilité du sol, et coproduit du processus de production.

Les caractéristiques des sols

Ainsi, la qualité des sols des savanes cotonnières et leur aptitude à la culture cotonnière s'apprécie à travers des caractéristiques physiques, hydrodynamiques, chimiques et biologiques.

Les caractéristiques physiques sont en lien direct avec l'enracinement des plantes et, par conséquent, avec l'accès aux éléments nutritifs : présence d'une cuirasse, granulométrie, tendance à la compaction, profondeur, etc.

Les caractéristiques hydrodynamiques correspondent à la sensibilité à l'érosion, la propension à la battance, la réserve utile en eau, la tendance à l'engorgement, etc.

Les caractéristiques chimiques sont les teneurs en phosphore assimilable (Pass.), en carbone (C) et en azote total (Ntot), la capacité d'échange cationique (CEC) et la garniture cationique (K, Ca, Mg), l'acidité (pH), etc.

Les caractéristiques biologiques comprennent l'activité microbienne responsable de la minéralisation de la matière organique du sol (MOS), la mésofaune (termites, vers de terre), le complexe pathogène de la microflore et de la microfaune, etc.

L'élément carbone en tant que principal élément constitutif de la matière organique (biomasse et matière organique du sol) tient une place centrale dans le processus de production. Une partie de la biomasse, les résidus de culture et les racines, retourne au sol pour intégrer le stock de la matière organique du sol. Ce processus est relativement rapide en conditions tropicales (températures élevées, humidité forte et activité biologique intense) et contribue à améliorer la fertilité du sol. C'est la raison pour laquelle le taux de matière organique du sol est considéré comme le meilleur indicateur de la fertilité des sols.

Composante physique de la fertilité du sol

La composante physique de la fertilité du sol interagit avec les compartiments organiques du sol, matières organiques de surface et incorporées, brutes et humifiées, sur la dynamique de l'eau, à travers les états de surface et la structure du sol.

Les états de surface

Les particules et les éléments organiques à la surface du sol modifient les conditions de ruissellement et d'érosion, d'infiltration et d'évaporation. Aussi, les techniques de paillage et de gestion des résidus de culture prennent toute leur importance dans les situations où la durée de la saison des pluies est particulièrement courte. En effet, avec une implantation précoce de la culture, la présence des résidus organiques allonge la durée du cycle des pluies utiles. Ainsi, leur présence augmente le potentiel de production en améliorant l'infiltration des premières pluies associées aux techniques de semis direct. Par ailleurs, en limitant les pertes par évaporation durant le cycle de culture, la technique du paillage augmente les disponibilités en eau dans le sol en fin de campagne et allonge ainsi le cycle de végétation.



La structure du sol

Le complexe argilo-humique associant des particules d'argile et des molécules organiques (humus) sous forme d'agrégats constitue la structure du sol. La structure du sol est en relation avec l'enracinement des cultures et la dynamique de l'eau. Une « bonne » structure diminue la contrainte mécanique vis-à-vis de l'enracinement, elle augmente la réserve en eau du sol, diminue l'évaporation du sol, améliore l'accès aux réserves minérales et hydriques à travers la solution du sol. La présence d'une cuirasse limite le développement racinaire et, par conséquent, la quantité d'eau disponible en fin de saison des pluies.

Composante chimique de la fertilité du sol

La nutrition minérale des cultures constitue une des principales fonctions limitant le rendement. Aussi, la question de l'identification des carences et des déficiences minérales a bénéficié de nombreux travaux. Les plus simples des outils de diagnostic font référence à des symptômes foliaires et à des normes sur les teneurs en éléments minéraux du sol (voir planche couleur photos 7, 8, 9, 10).

La plupart des sols des savanes cotonnières appartiennent à la classe des sols ferrugineux tropicaux lessivés (Alfisol). Ce sont des sols pauvres à très pauvres, qui se différencient par leur taux de matière organique (tableau 4.1) et leur pH (tableau 4.2).

Tableau 4.1. Catégorisation de la qualité d'un sol en fonction de ses caractéristiques chimiques.

Normes d'interprétation		Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche
Bases échangeables (meq / 100g)	Ca ⁺⁺	< 1	1 à 2,3	2,3 à 3,5	> 3,5
	Mg ⁺⁺	< 0,4	0,4 à 1	1 à 1,5	> 1,5
	K ⁺	< 0,08	0,08 à 0,18	0,18 à 0,40	> 0,40
MOS %		< 0,60	0,60 à 0,75	0,75 à 0,90	> 0,90

Les quantités d'éléments minéraux exportés annuellement (récoltes et brûlis des résidus de culture) dans les systèmes de culture à base de cotonnier sont de l'ordre de 20 kg P/ha/an, 80 kg K/ha/an, 12 kg Mg/ha/an et 17 kg Ca/ha/an. Ces sols montrent une fragilité dans leur composition chimique, notamment pour le phosphore (P) et le potassium (K), comme l'indiquent les données du tableau 4.2.

Les dispositifs expérimentaux du type essais soustractifs sont des outils de diagnostic de la nutrition minérale des cultures. Ils permettent

Tableau 4.2. Estimations des réserves minérales d'un sol ferrugineux typique.

	MOS	C	P _{ass.}	CEC	Ca	Mg	K	pH _{eau}
Teneurs (0 à 20 cm)	0,60 %	0,35 %	12 ppm	2,25 meq /100 g	3,2 meq /100 g	0,8 meq /100 g	0,12 meq /100 g	6
Quantité/ha (0-20 cm)		10t	40 kg		2t	300 kg	150 kg	

d'évaluer l'importance des déficiences minérales. Les effets de chacun des éléments de la fumure minérale complète (engrais NPKSB) sont évalués en comparant les effets sur le rendement de fertilisations minérales plus ou moins complètes (NPKSB, PKSB, NKS, NPSB). À partir des résultats de réseaux d'essais de ce type, ont été établies les formules des engrais coton vulgarisées par les sociétés cotonnières en Afrique tropicale.

La déficience en phosphore est généralisée dans la plupart des sols des savanes cotonnières. Ce qui a justifié les recommandations par les sociétés cotonnières de formules riches en P₂O₅, par exemple NPKSB « 14.23.14.5.1 » ou « 15.25.15.5.1 ». Par ailleurs, les effets importants sur la production d'un apport de bore (B) dans le cas d'une déficience a conduit à introduire cet élément de façon systématique dans la formule. Cette déficience n'a pas le caractère généralisé de la déficience en phosphore.

Au cours de ces essais, les éléments minéraux ont été dosés dans les limbes et les pétioles de feuilles de cotonnier. Les relations obtenues entre rendement et teneurs en ces différents éléments constituent le diagnostic foliaire. Ce type d'outil permet d'affiner le diagnostic lorsque les symptômes foliaires d'une déficience minérale ne sont pas clairement exprimés ou que de multiples symptômes se superposent.

Composante biologique de la fertilité du sol

Le processus de minéralisation de la matière organique du sol résulte de l'activité biologique du sol et participe largement à la nutrition minérale des cultures, en particulier à l'alimentation en azote. Ce processus intervient au début de la saison des pluies après un total pluviométrique de l'ordre de 50 mm, sous la forme d'un pic de minéralisation relativement fugace durant environ trois semaines. Seuls les semis précoces peuvent bénéficier de l'azote minéral (NH₄⁺ et essentiellement NO₃⁻) libéré, car l'azote sous forme nitrique, qui n'est pas assimilé par des racines en place, est entraîné par l'eau de drainage. Ce phénomène



participe de l'effet important des semis précoces sur le rendement des cultures en complément de l'effet sur la durée du cycle de végétation évoqué précédemment.

L'élaboration du rendement du cotonnier et de la qualité du coton-graine

Michel Crétenet

Une variété de cotonnier se définit par un ensemble de caractéristiques qui correspondent à son comportement agronomique dans un milieu particulier : durée de son cycle de végétation, précocité, caractère plus ou moins rustique, capacité de compensation, potentiel de production, etc.

On décrit également la qualité technologique d'une variété par le rendement égrenage (poids de fibre / poids de coton-graine), les caractéristiques des graines (poids de 100 graines ou *Seed Index*, teneur en huile), la qualité des fibres. Les caractéristiques technologiques principales des fibres sont la longueur et l'uniformité, la maturité et la finesse, la ténacité et l'allongement, la réflectance et l'indice de jaune.

Le comportement agronomique d'une variété correspond à des processus physiologiques, d'une part, la croissance, c'est-à-dire l'accumulation de matière sèche et, d'autre part, le développement, c'est-à-dire l'apparition des organes végétatifs et fructifères sur le plant. La croissance et le développement sont concomitants au cours du cycle du cotonnier et concourent à l'élaboration du rendement et de la qualité de la production (figure 4.5).

Le rendement de la culture correspond au produit d'un nombre de capsules par le poids moyen d'une capsule (PMC). Le nombre de capsules récoltées par plant résulte des processus de développement et d'abscission des organes fructifères. Le poids moyen capsulaire et la qualité des fibres produites résultent du processus de croissance.

▮ L'élaboration du rendement

La concomitance de la croissance et du développement définit une plante à croissance indéterminée. En conséquence, la fin du cycle de végétation pour ce type de plante intervient lorsque les conditions deviennent défavorables, sous l'effet d'un stress hydrique ou d'un stress thermique.

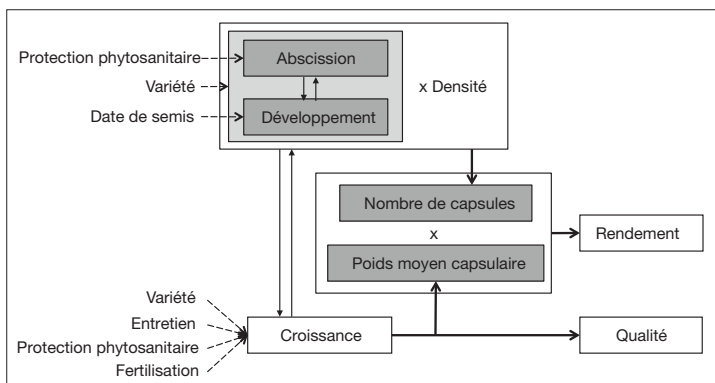


Figure 4.5. Schéma du modèle de prédiction du rendement de la culture du cotonnier et de la qualité produite.

La durée de la période entre l'apparition de la première fleur et l'arrêt de la croissance du plant de cotonnier (*cut-out*) dépend donc des facteurs qui régissent l'activité photosynthétique de la plante (lumière, nutrition minérale, alimentation hydrique) et du nombre de capsules présentes après les abscissions dues aux dégâts d'insectes et aux stress trophiques (nutrition minérale et alimentation hydrique) (figure 4.6).

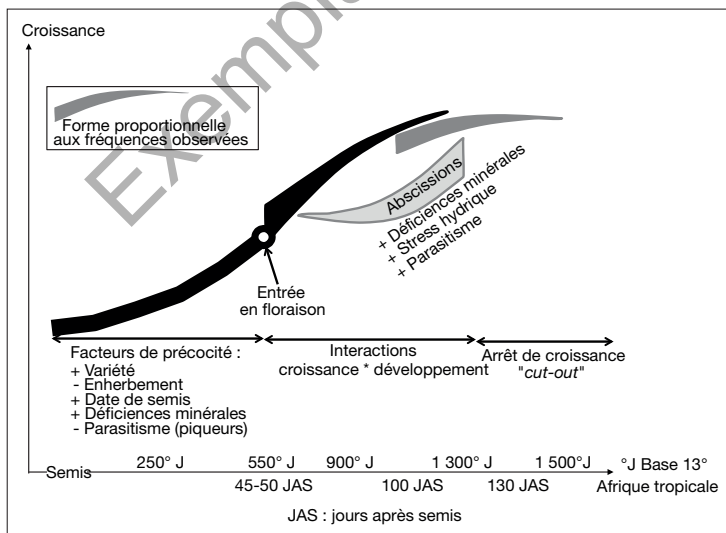


Figure 4.6. Facteurs intervenant sur la durée du cycle du cotonnier.



Paramètres de la précocité

Le temps qui s'écoule entre la levée et l'apparition de la première fleur sur le plant et le temps nécessaire pour passer du stade de la fleur au stade de la capsule ouverte sont deux paramètres spécifiques de la précocité d'une variété. Un troisième paramètre intervient sur la précocité de la production : la vitesse avec laquelle apparaissent les fleurs successivement sur le plant. Un quatrième paramètre est celui de la répartition des glucides et, notamment la priorité accordée aux fruits par rapport aux autres organes simultanément en croissance.

Sensibilité à l'abscission

Aussi, même en l'absence de toute contrainte biotique (ravageurs, maladies), il existe une abscission d'organes fructifères plus ou moins importante, qualifiée d'abscission physiologique. Elle correspond à un mécanisme de régulation à l'échelle du plant lui permettant d'adapter l'offre en glucides à la demande des fruits en croissance (figure 4.7). La sensibilité à l'abscission des organes fructifères varie selon le stade de développement. Ainsi on observe que les jeunes boutons floraux et les jeunes capsules sont plus sensibles à l'abscission induite par un stress carboné.

Les organes fructifères les plus sensibles tombent les premiers, jusqu'à ce que la demande instantanée de l'ensemble des fruits restant s'équilibre avec l'offre en glucides (figure 4.7).

Durée du cycle

Plus l'abscission physiologique est importante, plus l'arrêt de croissance marquant la fin du cycle de la culture est tardif. Les variétés donnant une moindre priorité aux fruits dans la répartition des glucides sont des variétés de type plus végétatif que les autres ; leur caractère indéterminé est plus marqué et leur capacité à compenser les abscissions dues aux dégâts d'insectes ou aux stress trophiques est plus grande. Cela leur confère une plus grande rusticité. La plupart des variétés cultivées en Afrique appartiennent à ce type de cotonniers.

Le cotonnier, à l'instar des plantes à croissance indéterminée, continue sa croissance végétative pendant la phase fructifère. Cette concomitance de la croissance végétative et du développement fructifère est à l'origine d'importantes variations de la durée du cycle de la culture. En effet, ce n'est que lorsque la production photosynthétique de

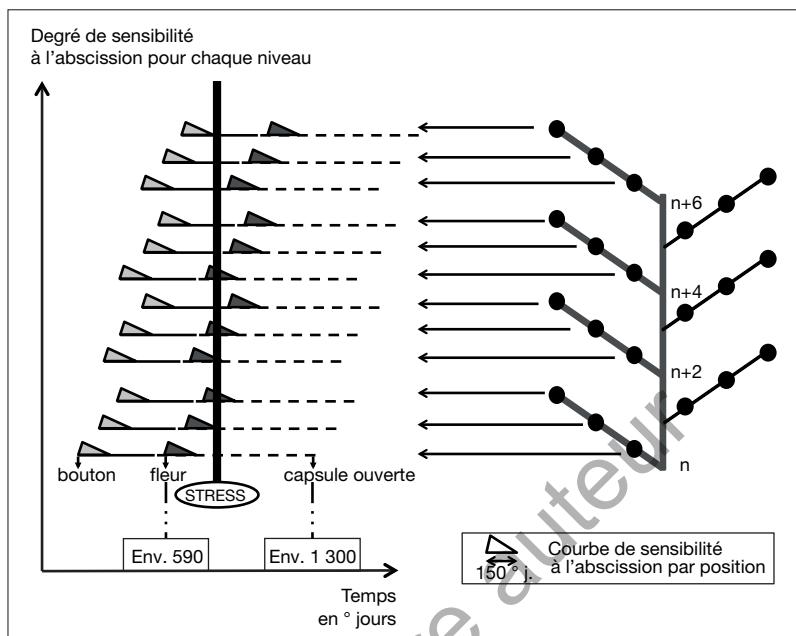


Figure 4.7.

Schématisme de l'abscission des organes fructifères par régulation à chaque étape et en conséquence d'un stress, selon la position dans le plant des organes.

Les triangles illustrent par rapport à l'axe temps thermique (en abscisse), la sensibilité à l'abscission des organes fructifères. Plus la hauteur du triangle est importante plus la sensibilité à l'abscission est forte.

Pour les boutons floraux (triangles gris clair), la sensibilité est forte lorsqu'ils se forment, puis elle diminue et est nulle à l'ouverture de la fleur. Après l'ouverture de la fleur et la fécondation, les capsules (triangles gris foncé), comme les boutons floraux, ont une sensibilité forte à l'abscission au début de leur croissance qui diminue et devient nulle lorsque la capsule est formée.

l'ensemble du plant est entièrement consacrée à la croissance des capsules en place, que la croissance végétative s'arrête, stade dénommé couramment *cut-out* ou arrêt de croissance. À ce stade, des fleurs apparaissent au sommet des plants (voir planche couleur – photo 3).

La durée de la période entre l'apparition de la première fleur et le *cut-out* dépend donc des facteurs qui régissent l'activité photosynthétique de la plante (lumière, nutrition minérale, alimentation hydrique, températures) et du nombre de capsules présentes après les abscissions dues aux dégâts d'insectes et aux stress trophiques (nutrition minérale et alimentation hydrique).



Élaboration de la qualité du coton-graine

Les différentes capsules d'un même plant de cotonnier n'ont pas la même histoire. Les conditions trophiques (nutrition minérale et alimentation hydrique) et environnementales (températures, rayonnement, parasitisme) de la croissance sont différentes d'une capsule à l'autre. Aussi, le poids de chaque capsule, la quantité de coton-graine qu'elle produit, et les caractéristiques de la fibre dépendent de l'histoire de chacune d'entre elles. Ainsi, la capsule constitue l'unité élémentaire où s'élabore la qualité de la fibre de coton dont une grande partie des caractéristiques technologiques sont également sous dépendance variétale.

Croissance

La croissance d'un plant de cotonnier résulte de la production photosynthétique des feuilles. Sur un plant de cotonnier, on distingue les feuilles à l'aisselle des nœuds de la tige principale qui assurent essentiellement la croissance de la tige et la croissance des entre-nœuds, et les feuilles à l'aisselle des capsules qui assurent l'essentiel (70%) de la croissance des fruits (figure 4.8).

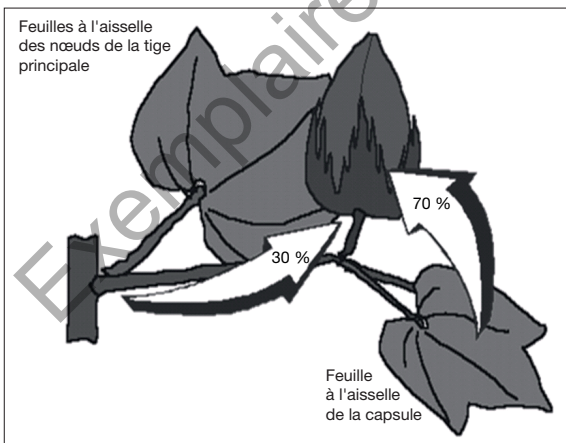


Figure 4.8.

Sources des glucides dans le processus de croissance de la capsule.

Les glucides

La photosynthèse convertit l'énergie lumineuse en sucres (ou glucides) qui vont migrer des feuilles jusqu'aux organes en croissance. Les glucides produits au niveau d'une feuille à l'aisselle d'un bouton floral assurent

le développement de la feuille elle-même jusqu'à l'ouverture de la fleur, puis sont exportés vers la capsule adjacente en croissance. Les courbes de croissance d'une capsule et de l'activité photosynthétique de la feuille à l'aisselle de la capsule sont illustrées sur la figure 4.9.

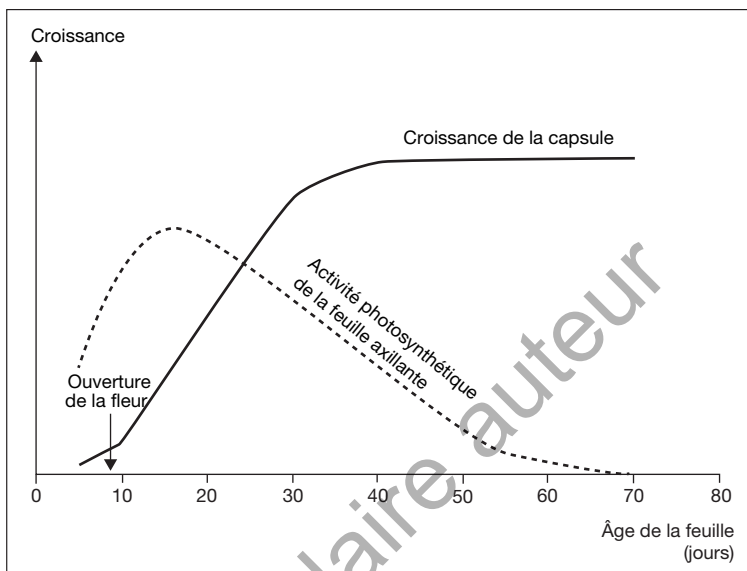


Figure 4.9.
Relation entre la croissance de la feuille et la croissance de la capsule.

Poids moyen de coton-graine de la capsule

Le poids moyen de coton-graine de la capsule (c'est-à-dire sans compter les poids des bractées, des carpelles, et du pédoncule) est calculé comme suit :

Poids moyen de coton-graine d'une capsule
 = nombre de graines × poids moyen d'une graine (*Seed Index*)
 + nombre de fibres × poids moyen d'une fibre.

Les poids moyen d'une fibre est décomposé de la façon suivante :

Volume de la fibre (fonction de la longueur, de la finesse et de l'épaisseur de la fibre) × masse volumique de la cellulose.

Le volume de la fibre est fonction de la longueur, de la finesse et de l'épaisseur de la fibre. La capsule est constituée de carpelles dont le nombre (4 ou 5) est déterminé principalement par la variété. Les



capsules à 5 loges sont préférentiellement localisées en bas d'un même plant. Le nombre de graines de chaque carpelle (6 à 9) correspond aux ovules fécondés le jour de l'anthèse.

Les fibres

Les fibres sont des cellules de l'épiderme de la graine (12 000 à 18 000 fibres par graine) dont l'élongation est initiée dès le jour de l'anthèse. Les fibres initiées plus tard (environ 5 jours après l'anthèse) constituent le linter des graines vêtues.

Les besoins en glucose (glucide produit par la photosynthèse) pour assurer la croissance de la capsule dépendent en grande partie de la composition chimique de chaque composante. Ainsi, il faut deux fois plus de glucose pour élaborer un gramme de lipides ou de protéines de la graine (efficacité de conversion du glucose respectivement de 0,32 et 0,39) que pour élaborer un gramme de cellulose de la fibre (efficacité de conversion du glucose de 0,81). Le cas de la lignine des carpelles est intermédiaire avec une efficacité de conversion du glucose de 0,46. Aussi en situation de stress, lorsque la demande en glucides pour la croissance de l'ensemble des composantes de la capsule est supérieure à l'offre en glucides issus de la photosynthèse, la croissance des fibres est privilégiée par rapport à celle des graines qui est beaucoup plus coûteuse en énergie.

Conditions de croissance

C'est pourquoi on observe un rendement égrenage plus élevé, relativement plus de fibre par rapport à la graine, dans des conditions de croissance défavorables. Des mauvaises conditions de croissance, correspondant à un mauvais remplissage des graines (*Seed Index*) et à un mauvais remplissage des fibres (indice micronaire IM), favorisent le rendement égrenage qui est d'autant plus élevé que les conditions de maturation sont mauvaises (figure 4.10).

Le nombre de graines par capsule étant déterminé juste après l'anthèse, des mauvaises conditions de croissance à cette période affectent fortement le poids moyen capsulaire (PMC) potentiel. Aussi, la relation entre le nombre de graines et le PMC est utilisée (figure 4.11) pour estimer le PMC à partir du nombre de graines observées dans les capsules, au Brésil notamment. Cette estimation associée à celle du nombre de capsules à l'hectare permet d'établir une prévision de rendement qui est affinée en fonction des conditions de croissance durant la phase de remplissage des graines, phase durant laquelle s'élabore le *Seed Index* (SI).

Qualité de la fibre

On peut assimiler la finesse de la fibre à son diamètre extérieur qui est la première caractéristique mise en place (figure 4.12). Ensuite, la longueur de la fibre s'élabore progressivement du jour de l'anthèse jusqu'au 21^e jour. La maturité des fibres est le résultat de leur maturation qui a lieu du 18^e au 45^e jour après anthèse ; elle correspond au remplissage du canal médullaire (ou lumen) des fibres par des dépôts cellulosiques internes, plus ou moins importants, au niveau de la paroi secondaire. L'indice micronaire combine les informations de finesse et de maturité des fibres en une seule valeur très utilisée dans le commerce des fibres.

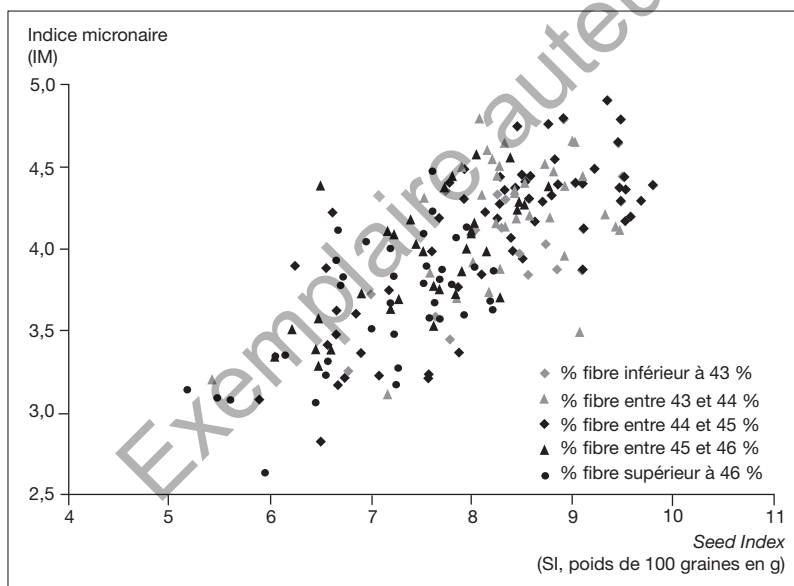


Figure 4.10.

Relations entre le rendement égrenage (% fibre/(graine + fibre)), la maturité des fibres (IM) et le remplissage des graines (SI = poids de 100 graines).

La maturité des fibres et le remplissage des graines sont des phénomènes concomitants (mauvaise maturité des fibres et faible remplissage des graines pour la partie du nuage proche de l'origine, grosses graines et fibres mûres pour la partie haute du nuage). Dans les mauvaises conditions de remplissage et de maturation, les rendements égrenage sont les plus élevés, et inversement le rendement égrenage est plus faible lorsque les conditions de maturation et de remplissage sont favorables. Ainsi, il est moins « coûteux » pour la plante de fabriquer de la fibre que de la graine notamment dans les mauvaises conditions.

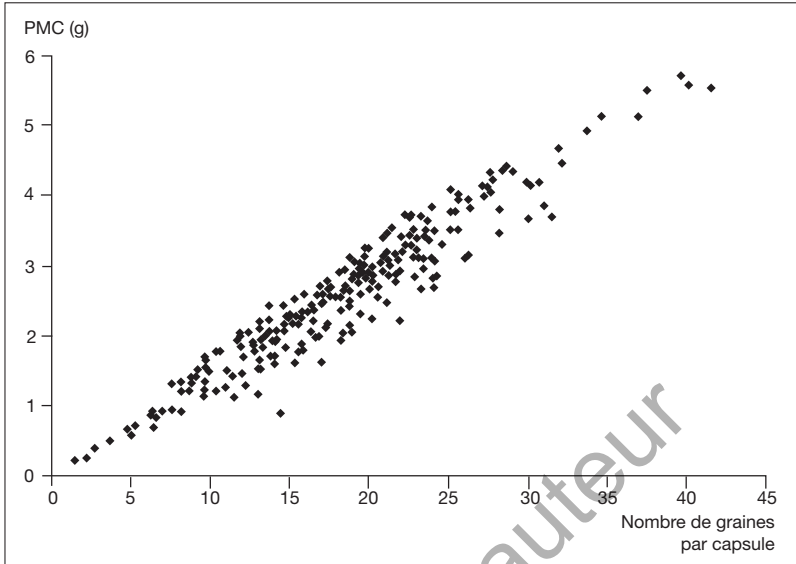


Figure 4.11.

Relation entre poids moyen de la capsule (PMC) et nombres de graines par capsule pour une variété donnée (résultats obtenus au Bénin, 2002).

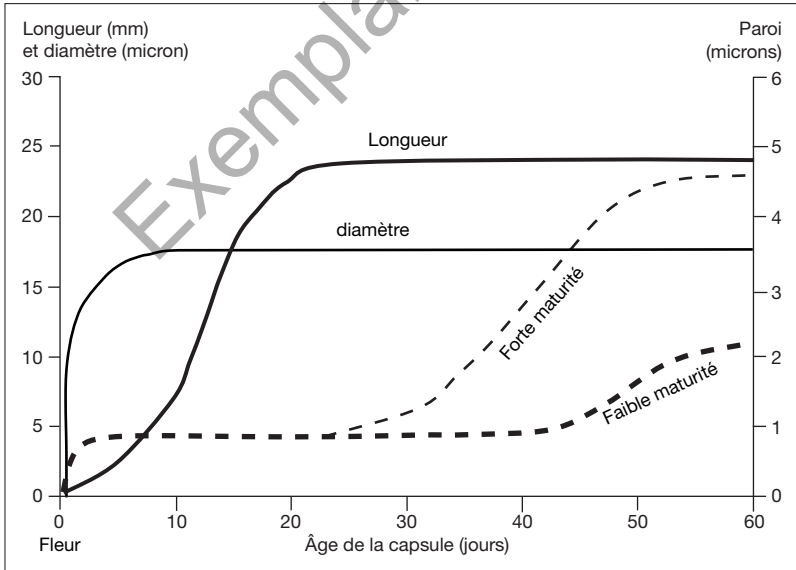


Figure 4.12.

L'histoire de chaque capsule influence la qualité de ses fibres.

L'importance des dépôts renseigne sur la maturité des fibres : dans les fibres mûres (figure 4.13a), le lumen est presque totalement rempli; dans les fibres immatures ou mortes subsiste un lumen important (figure 4.13b).

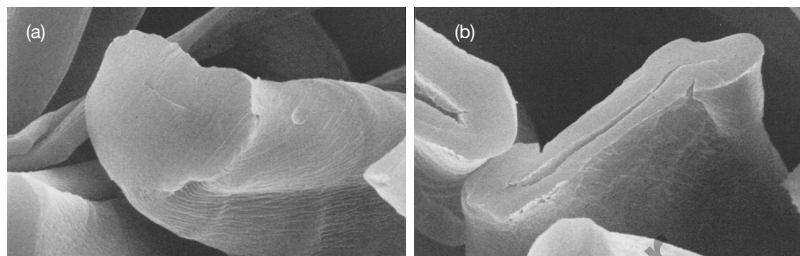


Figure 4.13.

Coupes de fibres de coton. (a) fibre mûre, (b) fibre immature.

(© Jean-Luc Chanselme / Cirad)

La finesse et la longueur de la fibre sont des caractéristiques très liées à la variété et relativement indépendantes des conditions de croissance. La maturité est en revanche très sensible aux conditions de croissance. L'indice micronaire ou micronaire est une combinaison de la finesse et de la maturité des fibres, et résulte d'une mesure de ces deux grandeurs.

La qualité des fibres de coton produites sur une parcelle intègre la variabilité des caractéristiques technologiques entre les capsules d'un même plant et entre les différents plants d'une même parcelle. La qualité du coton à l'échelle de la parcelle s'apprécie par les valeurs moyennes des caractéristiques technologiques mesurées de la fibre et par leur homogénéité (dispersion des mesures par rapport à ces valeurs moyennes).

Aussi, dans les conditions de culture pluviale africaine et compte tenu du processus d'élaboration des caractéristiques technologiques de la fibre à l'échelle de la capsule, une production précoce et groupée présente les meilleures garanties d'une production de fibres de qualité. En effet, d'une part une production groupée est synonyme d'homogénéité, et d'autre part, une production précoce correspond à une période de croissance et de maturation des capsules présentant moins de risques de stress hydriques et, donc, susceptibles d'assurer des conditions de maturation des fibres plus favorables.

Le fractionnement des récoltes qui consiste à collecter le coton-graine au fur et à mesure de l'ouverture des capsules permet de regrouper la production de capsules qui ont mûri dans les mêmes conditions. Aussi,



chacune des récoltes ainsi constituée est relativement homogène, alors que les conditions de maturation sont d'autant plus médiocres que la récolte est tardive. Les analyses technologiques du coton de récoltes successives mettent en évidence l'intérêt d'une production précoce sur la qualité des fibres produites. Les analyses de quatre récoltes hebdomadaires successives de la variété IRMA A1239 (tableau 4.3) montrent la dégradation de la maturité des fibres (IM, MR et PM), de leur allongement (Elong) et plus faiblement de leur longueur (ML, UHML, UI).

Tableau 4.3. Récoltes fractionnées de la variété IRMA A1239 (résultats obtenus à Maroua, Cameroun 2003).

Récolte (jours après levée)	ML (mm)	UHML (mm)	UI (%)	Strength (g/tex)	Elong (%)	IM	MR	PM (%)	H (mtex)	HS (mtex)	Rd (%)	+b
R1 (110)	26,1	30,4	85,8	32,5	6,37	3,77	0,85	75,4	162	191	74,7	11,1
R2 (117)	26,7	30,9	86,5	34,6	6,09	2,98	0,69	60,5	145	211	75,7	11,0
R3 (124)	25,9	30,3	85,6	34,3	5,62	2,59	0,61	51,8	135	225	76,3	10,6
R4 (131)	24,5	29,2	84,0	33,7	5,24	2,00	0,46	35,1	124	270	75,6	10,2

Paramètres des caractéristiques technologiques des fibres de coton : ML, *Mean Length*, longueur moyenne; UHML, *Upper Half Mean Length*, longueur commerciale; UI, *Uniformity Index*; IM, *Micronaire*, indice micronaire; MR, *Maturity Ratio*; PM, *Percent of mature fibers*, Pourcentage de fibres mûres; H, *fineness*, finesse linéique; HS, *standard fineness*, finesse standard; Rd, *reflectance*, Réflectance; +b, *yellowness*, degré de jaune.

Conduite raisonnée des systèmes de culture à base de cotonnier intégrant la gestion de la fertilité des sols

Michel Crétenet

Les objectifs d'une conduite raisonnée de la culture cotonnière sont de permettre une meilleure maîtrise de la production aux différents niveaux de la filière. La capacité des différents acteurs à maîtriser une production en quantité et en qualité est source d'amélioration de la productivité et de la compétitivité de la filière. En outre, ces améliorations, prenant en compte les contraintes socio-économiques des producteurs en amont, sont durables.

La maîtrise de la production s'entend à différentes échelles spatiales et temporelles. Les échelles spatiales sont l'échelle locale, la parcelle de cotonniers gérée par un agriculteur sur son exploitation dans le cadre d'un assolement, la production cotonnière villageoise dont la gestion

repose sur les groupements de producteurs, la zone de collecte de l'usine ou le bassin d'approvisionnement gérés par un égreneur et/ou une société de développement, et l'échelle nationale dans le cadre de l'exportation de la fibre (et de la graine) produite. Dans certains pays, il peut exister également un marché national.

À l'échelle temporelle, la maîtrise d'un objectif de production correspond à des décisions judicieuses prises à des périodes clés du cycle de la culture. Les décisions plus stratégiques du producteur sur son exploitation correspondent à ses plans de campagne. À l'échelle des groupements villageois de producteurs, les décisions portent sur les plans de développement pour la gestion du domaine agro-sylvo-pastoral, la mise en place de dispositifs antiérosifs à l'échelle du terroir, les plans de campagne pour l'approvisionnement en intrants (semences, engrais, insecticides) et l'organisation de la commercialisation primaire du coton.

Le raisonnement plus ou moins explicite du producteur pour définir son assolement et ses objectifs de production se réfère à des besoins monétaires, à la sécurité alimentaire de sa famille, à la force de travail interne à l'exploitation familiale, et aux opportunités d'accès à de la main-d'œuvre extérieure ou à l'entraide. Aussi, l'explicitation des objectifs à la parcelle (production, qualité, environnement) est une question difficile à appréhender car elle s'insère dans un contexte socio-économique très variable dans le temps (accès à la terre, prix du marché, composition familiale, statut social) et considère la propension de chaque producteur à la prise de risques comme un élément déterminant de sa décision.

Les objectifs de production raisonnables, ou atteignables, sont définis en fonction des potentialités du milieu, des conditions et des contraintes du marché. Aussi, les objectifs de production ciblés dans le cadre d'une conduite raisonnée de la parcelle de cotonniers se situent très généralement en deçà des potentialités agricoles, avec pour conséquences plusieurs itinéraires techniques susceptibles de répondre à un même objectif de production. Un itinéraire technique est choisi en fonction de critères économiques ou de critères environnementaux, et induit des décisions techniques.

▮ Conduite de la culture : l'itinéraire technique

Un itinéraire technique est défini comme « l'ensemble des techniques combinées pour conduire une culture, y compris le choix de la variété pour atteindre des objectifs de rendement, de qualité et/ou d'effets



sur le milieu ». La conception d'itinéraires techniques fait référence au fonctionnement de la plante en peuplement dans un environnement pédoclimatique sous la pression de ravageurs et d'adventices, aux coûts des produits et des facteurs de production, et aux impacts induits par les pratiques culturales sur l'évolution du milieu.

Les principes d'aide à la décision

Dans les années 1970-1990, une fiche culturale normative était élaborée pour une zone d'encadrement de la culture cotonnière et retenait les effets moyens sur le rendement les plus intéressants pour chacun des éléments de l'itinéraire technique (cadre I de la figure 4.14). Les effets moyens d'une technique étaient généralement évalués sur un ensemble de sites expérimentaux et validés par des tests sur des parcelles d'agriculteurs. Ainsi, ont été déterminés – indépendamment les uns des autres – les variétés, les dates et les densités de semis, les formules et les doses d'engrais, les programmes de protection sur calendrier, qui constituent les fiches techniques long-temps vulgarisées dans les zones cotonnières d'Afrique de l'Ouest et du Centre.

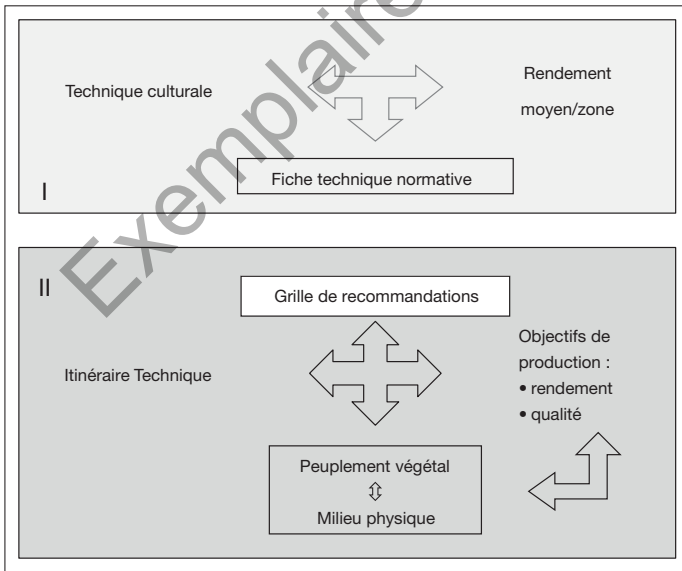


Figure 4.14.

D'une recommandation moyenne « normative » (cadre I) vers des recommandations ciblées (cadre II) dans la vulgarisation des conseils au producteur.

En réponse aux recommandations normatives, on observe une très grande variabilité des rendements en coton-graine et de la qualité des fibres obtenus par les agriculteurs au sein d'une même région. Cette variabilité résulte à la fois de la diversité des conditions de milieu (sols, pluviométrie, pression des adventices et des insectes) et des écarts dans les pratiques des producteurs par rapport à ces recommandations normatives. Les décisions techniques prises par l'agriculteur en dépit des indications fournies par l'encadrement résultent soit d'une expertise acquise par une expérience de la culture cotonnière sur des sols connue empiriquement, soit de contraintes rencontrées dans la gestion de l'exploitation (calendriers, main-d'œuvre, trésorerie, etc.) qui l'amènent à s'écarter des recommandations dans la conduite de sa culture.

Dans un tel contexte, la mise au point de grilles de recommandations vise l'amélioration de la productivité par une meilleure maîtrise d'objectifs de production du producteur, et correspond au pilotage de la culture en cours de campagne. L'élaboration de grilles de recommandations ou d'itinéraires techniques à différents stades de développement de la culture correspond à cette évolution de la recherche et du développement depuis les années 1990 (cadre II de la figure 4.14).

La mise en place du couvert végétal

La mise en place du couvert végétal correspond à la période comprise entre la préparation du sol (le semis lorsqu'il n'y a pas de travail du sol) et la fermeture du couvert, c'est-à-dire le moment où la culture intercepte la totalité du rayonnement incident (LAI de l'ordre de 5). Compte tenu du rôle déterminant du critère de la durée utile des pluies sur le potentiel de production, il peut être judicieux, en particulier dans le cas d'une installation tardive de la saison des pluies, de préparer superficiellement et légèrement le sol, voire de réaliser un semis direct sans travail préalable du sol (voir planche couleur – photo 6). Il convient alors d'associer un paillage à la technique de semis direct pour limiter la concurrence des adventices.

La vitesse de fermeture du couvert par la végétation du cotonnier est essentiellement dépendante de la densité de semis. L'effet de la densité sur le rendement dépend du potentiel de production, dans la pratique le passé cultural de la parcelle peut être une référence (meilleurs rendements enregistrés). Ainsi, si 40 000 plants/ha correspondent à une densité suffisante lorsque le potentiel est de l'ordre de 2 500 à 3 000 kg/ha



(courbe du haut, figure 4.15b), il faudra par contre augmenter la densité jusqu'à des valeurs de l'ordre de 100 000 plants/ha si le potentiel est de l'ordre de 1 000 à 1 200 kg/ha (courbe du bas, figure 4.15b). Ces différentes relations sont reprises dans la figure 4.15 qui illustre le raisonnement de la densité de semis en fonction d'une durée espérée des pluies utiles dans une localité à une date de semis donnée.

Ainsi, plus le semis est tardif ou plus la durée espérée du cycle des pluies utiles est courte, plus la densité recommandée doit être élevée. Les valeurs de référence doivent être nuancées selon le sol, en particulier sa réserve utile en eau et selon le type variétal, notamment le caractère plus ou moins végétatif.

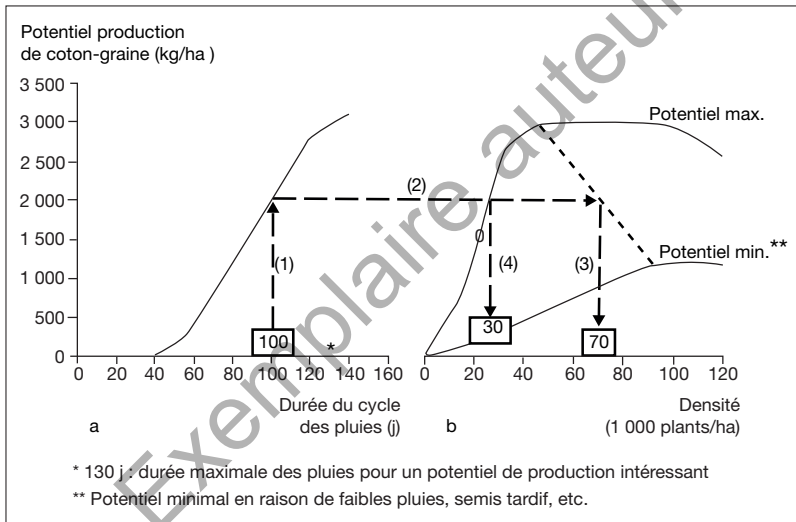


Figure 4.15.

Modalité de choix de la densité de semis en fonction de la durée « espérée » des pluies et du potentiel agricole connu de la parcelle.

a : potentiel de production en fonction de la durée des pluies.

b : rendement en fonction du potentiel de production

(*) période de 130 jours : durée maximale en Afrique francophone pour conserver un potentiel intéressant.

(**) production au potentiel minimal en raison de la faible fertilité du sol.

Pour une durée des pluies de 100 jours, le rendement potentiel est de l'ordre de 2 000 kg/ha (flèche 1 graphe a).

Pour atteindre ce niveau de rendement la densité recommandée est de 70 000 plants/ha si le potentiel agricole de la parcelle est de 2 000 kg/ha (flèches 2 et 3, graphe b).

Elle n'est que de 30 000 plants/ha si le potentiel agricole de la parcelle est de 3 000 kg/ha (flèche 4). Si le potentiel agricole est inconnu ou inférieur au seuil de 2 000 kg/ha, la densité recommandée est de 100 000 plants/ha.

▮ La gestion intégrée de la fertilité des sols

Les inquiétudes sur la baisse des rendements et l'évolution de la fertilité des sols sont aujourd'hui partagées par la plupart des sociétés cotonnières intervenant dans les anciens bassins cotonniers. Il faut cependant se garder de raccourcis qui attribueraient à la culture cotonnière un rôle majeur dans la dégradation de la fertilité des sols.

En effet, la détérioration du contexte économique a conduit à une relative extensification des systèmes de culture cotonniers. Ainsi, au Burkina Faso, 1 kg d'engrais NPK correspondait en 1986 à la valeur de 0,88 kg de coton-graine, en 1996 à la valeur de 1,18 kg de coton-graine, et en 2006 à la valeur de 1,51 kg de coton-graine. La baisse des quantités d'engrais utilisées dans les systèmes cotonniers en réponse à cette dégradation des termes de l'échange (hausse du prix des engrais par rapport à celui du coton-graine) est tout à fait logique de la part du producteur de coton africain. Parmi les conséquences de cette extensification des pratiques culturales, c'est moins la baisse immédiate des rendements que la perte de fertilité du sol induite par l'extensification du système de culture qui est préoccupante.

Fertilisation minérale et matière organique du sol : évaluation du potentiel du milieu et de l'efficacité de l'engrais

Les engrais organiques ou minéraux sont l'un des principaux facteurs de production du fait de la relative pauvreté chimique des sols des savanes cotonnières africaines. Si la fumure organique et l'enfouissement des résidus de culture permettent d'accroître directement le stock de carbone du sol (ou matière organique du sol, MOS = $1,732 \times C$), les effets d'apports de terre de parc, d'engrais minéraux, voire les techniques de brûlis contribuent indirectement à alimenter le stock de carbone du sol en améliorant la production de biomasse par unité de surface.

Évaluation du potentiel du milieu et de l'efficacité de l'engrais

La réponse à des quantités croissantes d'engrais se caractérise par le fait qu'elle est moins que proportionnelle : la réponse en termes de rendement aux premières unités fertilisantes apportées est plus importante que la réponse aux unités suivantes. Il existe alors une dose qui maximise la marge du producteur (figure 4.16) :

Dose qui maximise la marge du producteur
 $= (\text{rendement kg/ha} \times \text{prix d'achat du coton Fcfa/kg})$
 $- (\text{quantité d'engrais kg/ha} \times \text{prix de cession de l'engrais Fcfa/kg}).$

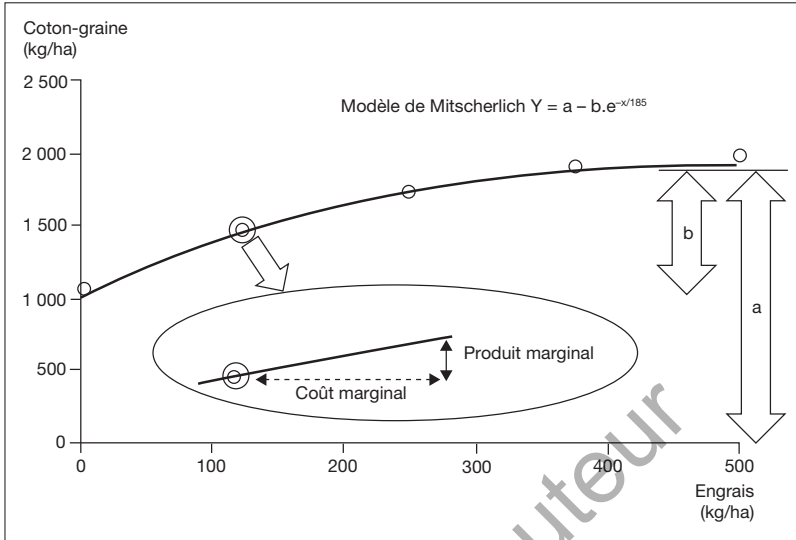


Figure 4.16.

Courbe réponse à la fumure (Garoua, Cameroun, 1990).

Le modèle d'ajustement le plus utilisé pour ce type de réponse est le modèle de Mitscherlich :

a, le potentiel maximal

b, la part du potentiel apporté par la fertilisation

x, la quantité d'engrais apportée par hectare.

Le paramètre « a » représente la valeur de l'asymptote qui correspond d'un point de vue agronomique au potentiel de production, et le paramètre « b » correspond à l'efficacité de l'engrais.

La dose d'engrais optimale économiquement correspond au point de la courbe où la pente de la tangente à la courbe correspond au rapport coût de l'engrais (F_{cfa}/kg) / prix du coton (F_{cfa}/kg).

Les valeurs moyennes régionales de ces paramètres sont sensiblement les mêmes sur l'ensemble du bassin cotonnier ouest-africain. Le potentiel agricole moyen de production de coton-graine d'une zone de production est de l'ordre de 2000 kg/ha pour les variétés actuelles, dont la moitié (1000 kg/ha) résulte de l'application d'engrais.

Le point de la courbe de réponse qui correspond à l'optimum économique est caractérisé par le fait que le produit marginal brut est égal au coût marginal brut. Cela se traduit par le fait que plus le prix de l'engrais est élevé (ou plus le prix du coton est faible), plus la dose d'engrais qui maximise la marge est faible. Inversement, si l'engrais est subventionné (ou si le prix du coton est élevé), la dose d'engrais économiquement optimale est plus élevée.

Ainsi, le contexte économique est déterminant sur le raisonnement de la dose d'engrais apportée. Ce contexte est sensiblement le même en 1985 et en 2012 avec un rapport coût de l'engrais / prix du coton d'environ 1,25 (en 1985, 145 Fcfa/kg d'engrais et 115 Fcfa/kg de coton-graine ; en 2012, 300 Fcfa/kg d'engrais et 240 Fcfa/kg de coton-graine). Aussi, les grilles de recommandations établies en 1985 restent d'actualité.

Détermination des paramètres de la réponse aux engrais

Les paramètres de la réponse aux engrais sont essentiellement déterminés par les éléments de l'itinéraire technique qui présentent des interactions fortes avec la fertilisation minérale.

Les dispositifs de recherche qui permettent de mettre en évidence et d'évaluer ces interactions sont soit des dispositifs en milieu contrôlé (stations de recherche), soit des dispositifs en milieu réel (parcelles paysannes).

En Côte d'Ivoire en 1985, des dispositifs de type factoriel ont comparé les combinaisons de différentes doses d'engrais (facteur A) avec différents niveaux d'un autre facteur (facteur B comme la date de semis, l'entretien de la culture, la protection phytosanitaire, la variété) sur un réseau de sites expérimentaux représentant la diversité des conditions de milieu pédoclimatique de l'ensemble d'une zone de production.

Au Cameroun, un dispositif de recherche s'est appuyé principalement sur une enquête sur la fertilité des sols conduite en 1990 sur 150 parcelles de producteurs de la région de Garoua. La réponse à des doses croissantes d'engrais sous les différents itinéraires techniques pratiqués ont été suivis et chaque parcelle a été l'objet d'analyses de sols.

Au Mali et au Bénin, la comparaison des différents systèmes de culture, dans les essais de longue durée notamment, a conduit à créer à terme des états de fertilité contrastés en fonction des systèmes de culture comparés.

La mise en cohérence des données issues de ce vaste ensemble de situations permet une validation croisée de l'interprétation des résultats, elle soulève également des questions de recherche importantes. L'existence d'interactions entre deux éléments de l'itinéraire technique dont la fertilisation minérale se traduit par des courbes de réponse à l'engrais non parallèles pour les différentes modalités de l'élément de l'itinéraire technique autre que la fumure. L'effet du mode d'entretien de la culture (utilisation d'un herbicide *versus* désherbage mécanique par exemple, figure 4.17) varie selon le niveau de fertilisation appliquée.

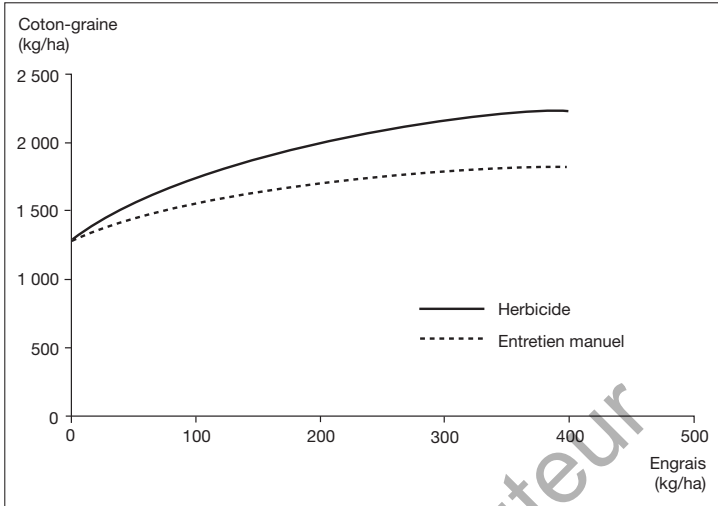


Figure 4.17.

Interaction entre entretien et fumure (résultats obtenus en Côte d'Ivoire, zone centre).

La compétition des mauvaises herbes se traduit par une perte de rendements de l'ordre de 500 kg/ha par rapport à une conduite de culture avec herbicide, lorsque 400 kg/ha d'engrais étaient apportés à la culture.

Ainsi, la compétition entre les plantes adventices et les plants de cotonniers est très faible sur une parcelle non fertilisée (mêmes rendements pour deux modalités d'entretien de la culture), alors que la compétition devient de plus en plus importante à mesure que l'on applique des engrais. La fertilisation minérale profite aussi bien à la culture qu'aux plantes adventices qui ne sont contrôlées qu'épisodiquement lorsqu'il s'agit d'un entretien manuel.

De la même façon, les courbes de réponse aux engrais ont été établies en fonction de la protection phytosanitaire et par zone en Côte d'Ivoire (figure 4.18). Pour la zone centre, l'interaction est particulièrement importante entre l'absence de traitement et la protection phytosanitaire recommandée en 1985 (6 traitements). L'efficacité de la fertilisation minérale apparaît principalement déterminée par la protection phytosanitaire contre les chenilles de la capsule.

Les courbes de réponse aux engrais établies sur un réseau de parcelles paysannes dans la région de Garoua au Nord-Cameroun (figure 4.19) illustrent l'interaction entre la date de semis (3 classes de semis) et la fertilisation minérale. Pour les semis précoces, l'effet de la fumure

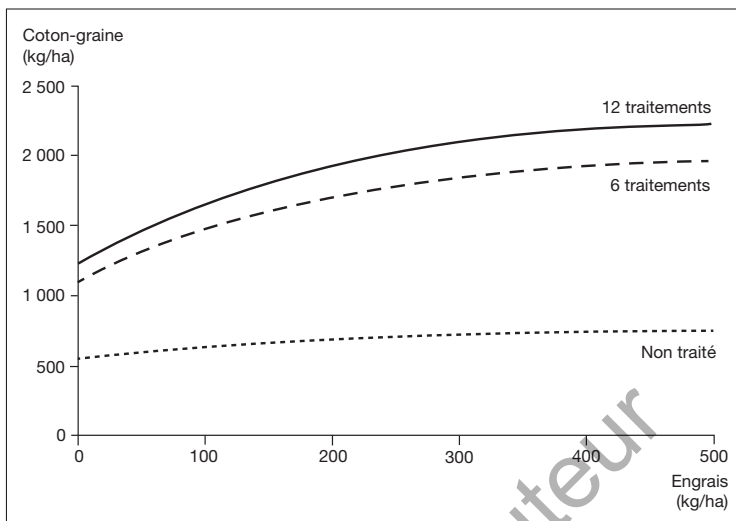


Figure 4.18.

Interaction entre la protection phytosanitaire et la fumure
(résultats obtenus en Côte d'Ivoire, zone centre).

Sous une fertilisation minérale de 300 kg/ha d'engrais, la protection phytosanitaire permet de multiplier le rendement par 3 en comparaison d'une parcelle non traitée.

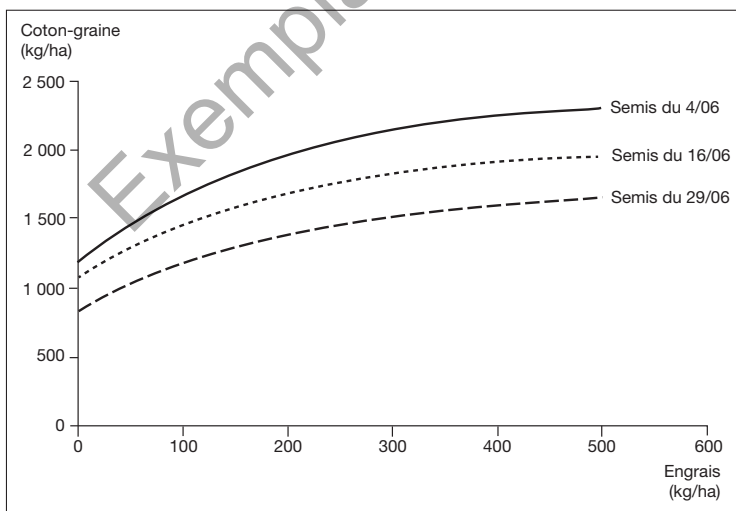


Figure 4.19.

Interaction entre la date de semis et la fumure
(résultats obtenus à Garoua, Cameroun).



minérale sur le développement de la plante et la croissance des fruits correspond à un temps de fonctionnement de la plante suffisamment long pour permettre la maturation de l'ensemble des fruits mis en place par la plante.

L'objectif de cette recherche d'interactions entre composantes de l'itinéraire technique est de déterminer les combinaisons optimales entre les éléments de l'itinéraire technique en fonction de la situation culturale (grilles de recommandations). Par exemple, on peut déterminer la combinaison entre la fumure minérale (dose d'engrais) et la protection phytosanitaire (nombre de traitements) qui maximise la marge du producteur, ou encore la dose d'engrais à apporter pour une date de semis et un mode d'entretien (herbicide *versus* entretien manuel) donné. Une espérance de rendement, le coût des charges variables, et les bilans minéraux estimés peuvent être associés à ces itinéraires techniques.

Exemples de grilles de recommandations d'après les essais en Côte d'Ivoire : relations entre date de semis, entretien, engrais, protection phytosanitaire et rendement

La réponse du cotonnier aux engrais est éminemment variable du fait des conditions d'alimentation hydrique de la culture et du mode d'entretien choisi. La prise en compte de ces deux facteurs conduit à une grille de recommandations de la dose d'engrais en fonction de la date d'arrêt probable des pluies (fonction du lieu), de la date de semis, et du type d'entretien envisagé. Les deux grilles de recommandations (date de semis \times fumure \times entretien) et (fumure \times protection) ont été élaborées en Côte d'Ivoire.

Cette grille de recommandations multicritères est destinée à aider le producteur dans sa prise de décision annuelle, en prenant en compte les espérances de rendement, les doses d'engrais, et la marge brute attendue dans chacun des cas (tableau 4.4).

L'interprétation des réponses aux apports d'engrais et à la protection phytosanitaire observées en Côte d'Ivoire dans 13 essais factoriels a permis de définir l'ensemble des combinaisons (niveau de protection \times niveau de fumure) conduisant à un même rendement, et d'identifier parmi ces combinaisons celle qui minimise le coût des intrants et par conséquent qui maximise la marge du producteur pour un rendement donné (figure 4.20). En considérant l'ensemble des combinaisons optimales propres à chaque courbe isocline (courbe correspondant à une

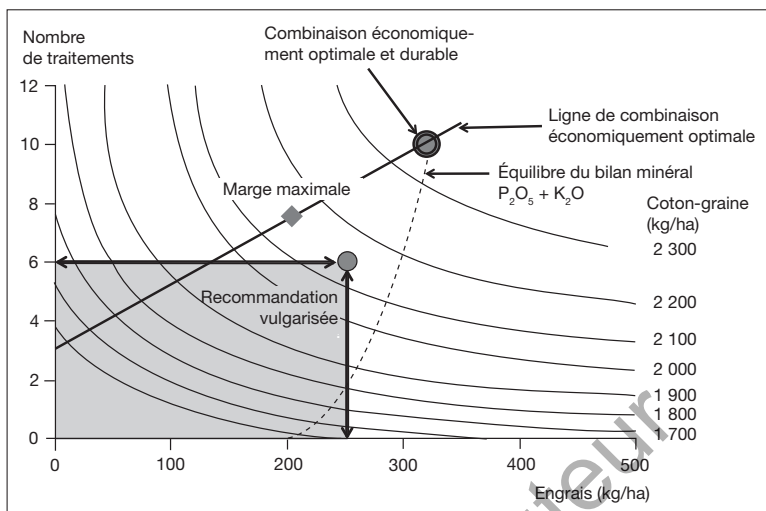


Figure 4.20.

Grille de recommandations fumure x protection phytosanitaire (résultats obtenus en région nord en Côte d'Ivoire, 1985).

La marge maximale du producteur (losange gris) est obtenue par la combinaison de 7 à 8 traitements et de 200 kg/ha d'engrais 10.18.18.

La combinaison économiquement acceptable et durable est obtenue par la combinaison de 10 traitements et de 320 kg/ha du même engrais.

même espérance de rendement en coton-graine par hectare), on est en mesure de définir la combinaison qui maximise la marge du producteur (voir figuré losange gris).

Le résultat de cette étude est à mettre en relation avec la combinaison recommandée à cette époque (1985), à savoir 6 traitements insecticides et 250 kg/ha d'engrais (figure 4.20, zone grisée) notamment sur la question de la durabilité de la culture cotonnière et, plus largement de celle des sols, par la prise en compte du bilan minéral. Le modèle permet par ailleurs de tester différentes hypothèses de subventions aux intrants et de mesurer leur incidence sur l'intérêt de la culture au niveau du producteur aussi bien que sur l'équilibre du bilan minéral de la culture (figure 4.20, ligne pointillée).

La matière organique du sol : influence sur les paramètres de la réponse à l'engrais

Les paramètres de la réponse à l'engrais sont également déterminés par le taux de matière organique du sol. Les essais de longue durée évaluent sur le long terme les performances (rendements des cultures



Tableau 4.4. Marge financière d'une culture en fonction de la date de semis, du bilan minéral, du mode d'entretien et des doses d'intrants.

Date de semis	Type d'entretien	Bilan minéral (kg de P ₂ O ₅ + K ₂ O)	Doses d'engrais (kg d'engrais 10.18.18)	Dose urée (kg)	Espérance de rendement (kg coton-graine / ha)	Marge brute (Fcf/a ²)
D (1)	Chimique + manuel	0	300	75	2 350	201 950
	Manuel seul	0	250	50	1 850	170 110
D + 10 jours	Chimique + manuel	- 20	250	50	2 000	172 360
	Manuel seul	- 10	200	50	1 600	148 465
D + 20 jours	Chimique + manuel	- 20	200	50	1 700	144 965
	Manuel seul	- 35	150	0	1 300	127 975
D + 30 jours	Chimique + manuel	- 20	200	0	1 450	123 050
	Manuel seul	- 60	50	0	1 050	113 575
D + 40 jours	Chimique + manuel	- 65	50	0	1 100	104 325
	Manuel seul	- 80	0	0	1 000	115 000

(1) D : date de semis correspondant à 130 j de cycle de pluies utiles, établie pour chaque zone

(2) Estimation sur la base des prix pratiqués en 1985 : NPKSB 145 Fcf/a /kg, Urée 137 Fcf/a /kg, coton-graine 115 Fcf/a /kg, herbicide 15 000 Fcf/a / ha.

en rotation) et l'évolution des sols, sous l'effet de systèmes de culture différenciés par des modes de fertilisation et de gestion des résidus de culture ; ils mettent en évidence une relation étroite entre le rendement des cultures en rotation et les teneurs en carbone du sol.

Enquête sur 150 parcelles au Cameroun : fertilité du sol et richesse en matière organique

Dans un dispositif d'enquête comparant plusieurs parcelles ayant des histoires différentes pendant une campagne (approche complémentaire), ces mêmes relations sont confirmées sur 150 parcelles paysannes de la région de Garoua au Cameroun.

Deux interprétations complémentaires sont possibles.

À l'échelle de la campagne agricole ou « temps court », les sols les plus fertiles permettent les plus forts rendements et correspondent aux sols ayant les taux de matière organique du sol les plus élevés. Aussi la matière organique du sol peut être considérée comme un bon indicateur de la fertilité du sol. Les relations entre les paramètres « a » et « b » de la réponse du cotonnier aux engrais en fonction du taux de matière organique du sol établies dans le cadre de l'enquête conduite au Nord-Cameroun (figure 4.21) illustrent :

- l'importance du taux de MOS comme indicateur de fertilité des sols (relation entre potentiel de production et la MOS) ;
- la faible efficacité des engrais pour les sols les plus fertiles et les moins fertiles avec un maximum de l'efficacité (1000 kg/ha coton) pour les teneurs en MOS de l'ordre de 0,65 % ;
- la relation entre le rendement du témoin non fertilisé et la matière organique du sol.

À l'échelle de la décennie ou temps long, les flux de carbone s'équilibrent entre les différents compartiments du système (plante, sol). Les systèmes de culture les plus productifs correspondent à des flux de carbone plus importants. Cet accroissement des flux étant généré par une photosynthèse plus efficace liée à l'amélioration de la nutrition des plantes, il induit un accroissement temporaire de MOS dont la minéralisation contribue à un accroissement des rendements. La richesse en matière organique des sols peut donc être entretenue de façon durable par l'intensification des systèmes de culture.

Essai longue durée au Bénin : relation entre MOS et rendement des cultures

L'essai de longue durée (1972 à 1980) à Aplahoué au Bénin (figure 4.22) illustre clairement les effets positifs de la fumure minérale (F0 non

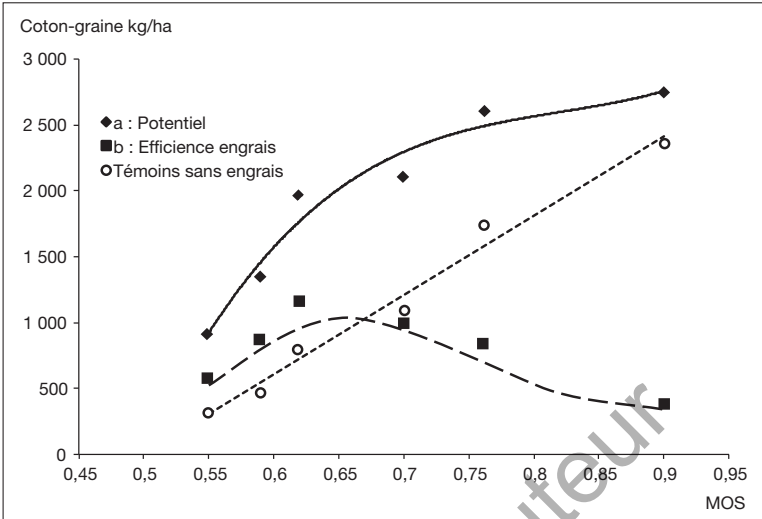


Figure 4.21.
Réponse de la production de coton-graine aux engrais et à la matière organique du sol (résultats obtenus à Garoua, Cameroun).

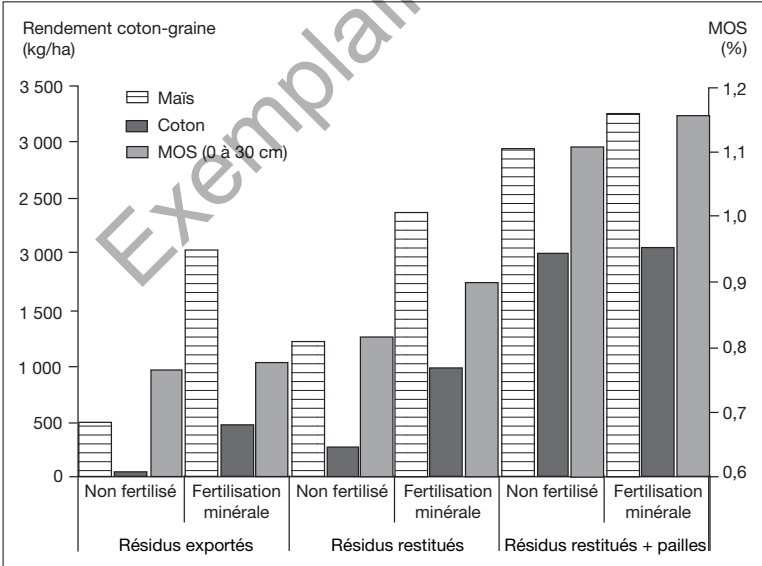


Figure 4.22.
Effet des modalités de conduite des apports organiques et minéraux sur les rendements (résultats des essais à Aplahoué, Bénin de 1972 à 1980).

fertilisé, F1 fertilisation minérale avec $115\text{N} + 72\text{P}_2\text{O}_5 + 60\text{K}_2\text{O}/\text{ha}/\text{an}$) et de la gestion des résidus de culture éventuellement associée à un apport de pailles (10t/ha/an de graminées extérieures au dispositif) sur les rendements du maïs et du cotonnier et sur le taux de MOS. Le taux de MOS apparaît étroitement lié aux rendements enregistrés sur les différents systèmes de culture comparés dans cet essai.

En restituant les résidus de culture à la parcelle, en fertilisant et en pratiquant un amendement organique sur le long terme, les rendements des cultures de maïs et de coton augmentent, tout en améliorant la richesse organique du sol.

Matière organique du sol et fertilité du sol

Ces équilibres à moyen terme entre MOS et rendements des cultures sont fonction des systèmes de culture pratiqués, et ils sont spécifiques des types de sols. Quel que soit le type de sol, les rendements les plus élevés correspondent aux teneurs en matière organique du sol les plus fortes.

La relation de type linéaire entre MOS et rendement en culture cotonnière (figure 4.23) présente un coefficient directeur (pente) relativement stable et identique entre le sud de la zone cotonnière béninoise (succession culturale annuelle maïs-cotonnier), la région de Koutiala au Mali (rotation triennale cotonnier-sorgho-arachide) et la région de Garoua au Cameroun (rotation biennale cotonnier-maïs).

Cependant, l'équilibre entre MOS et rendement s'établit à un taux de MOS deux fois plus élevé au Bénin qu'au Mali, alors que les niveaux d'intensification sont comparables. L'explication de cet écart n'est pas clairement trouvée à ce jour ; l'existence d'un compartiment plus ou moins important de carbone inerte (fraction de la MOS qui ne se minéralise pas dans les sols), l'effet de la texture du sol sur la « protection » du carbone du sol, la qualité des matières organiques restituées (cultures en rotation), le mode de gestion des résidus (brûlis *versus* enfouissement), etc., constituent autant de facteurs susceptibles de contribuer à cette spécificité.

Évolution de la fertilité des sols

La baisse des rendements en culture cotonnière, évoquée en introduction de cet ouvrage, est observée depuis 1986 sur l'ensemble des pays producteurs d'Afrique de l'Ouest et du Centre, comme le montrent par exemple les résultats obtenus au Cameroun sur la période 1986 à 2008 (figure 4.24).

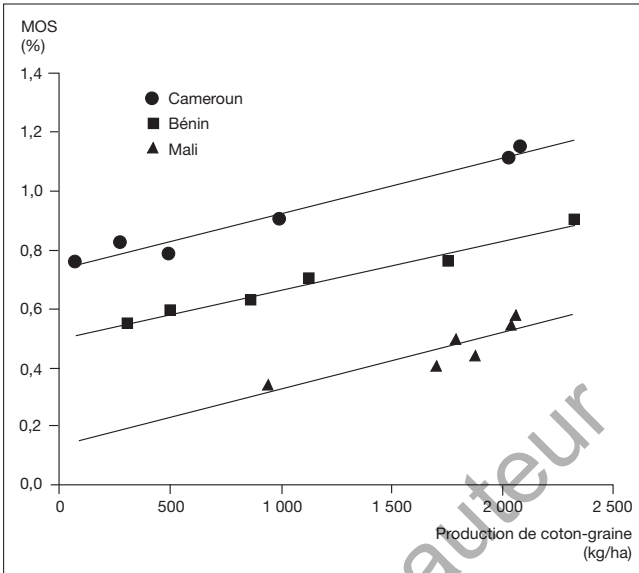


Figure 4.23.

Relations entre rendements et MOS dans trois pays africains.

Le coefficient directeur observé correspond à un effet potentiel à moyen terme d'accroissement de 0,02% du taux de MOS, en réponse à une intensification des systèmes de culture exprimée par un gain de rendement moyen de 100 kg/ha de coton.

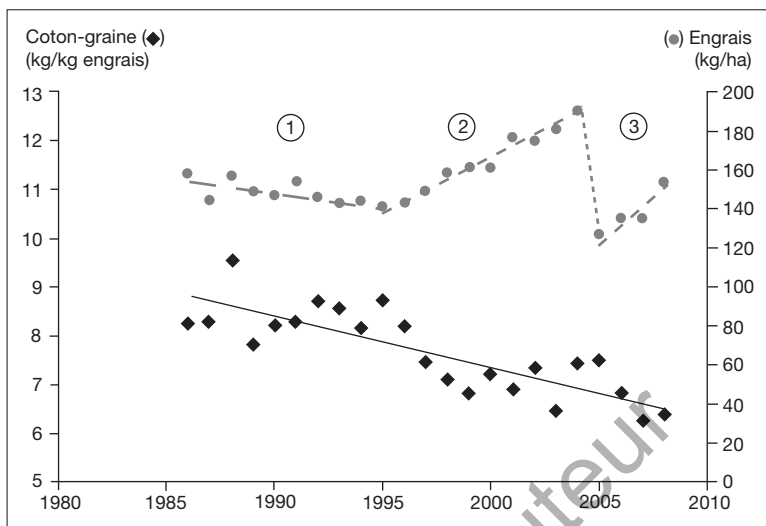
Diagnostic de la baisse des rendements : des bilans minéraux (K, Mg) fortement déficitaires

La perte d'efficacité de l'engrais sur cette période est attribuée à une baisse progressive du taux de MOS avec pour conséquences :

- la baisse de la capacité d'échange cationique (CEC) ;
- l'évolution de la garniture cationique de la CEC du fait de déficits croissants en potassium (K^+) et en magnésium (Mg^{++}) en particulier.

D'ailleurs, les diagnostics des états de la fertilité des sols au Nord-Cameroun, et, plus généralement, dans tous les anciens bassins cotonniers d'Afrique subsaharienne, s'accordent sur le constat d'une forte recrudescence des symptômes de déficiences potassique et magnésienne, qui constituent un marqueur fiable de la baisse générale de la fertilité des sols.

Les déficiences minérales sont à l'origine du processus d'évolution de la fertilité du sol. Les bilans minéraux en certains éléments, estimés par les apports par les engrais et les fumures organiques, les

**Figure 4.24.**

Évolution de l'efficacité des engrais (résultats obtenus à la Sodécoton dans la région de Garoua, Cameroun, de 1986 à 2008).

On observe une baisse régulière et importante (30 %) des rendements (losanges) indépendamment des fortes fluctuations des quantités d'engrais (points gris) au cours de trois phases : diminution durant la phase 1, augmentation durant les phases 2 et 3, après une rupture entre les phases 2 et 3.

Tableau 4.5. Quantités d'éléments minéraux exportés du sol par les cultures et leur rendement.

Culture (rendement)	Paramètre mesuré	Éléments minéraux (kg/ha/an)		
		Ca	Mg	K
	Réserves minérales ⁽¹⁾	2000 kg	300 kg	150 kg
Cotonnier (coton-graine) (1600 kg/ha)	Exportation par la récolte	2	3	12
	Exportation par les résidus	25	10	67
Maïs (2300 kg/ha)	Exportation par la récolte	2	3	12
	Exportation par les résidus	10	8	80
Sorgho (1000 kg/ha)	Exportation par la récolte	1	2	5
	Exportation par les résidus	11	10	58

(1) mesure des réserves minérales dans l'horizon superficiel (0-20 cm) d'un sol ferrugineux type sous forme de cations échangeables.



exportations par les récoltes et les résidus de culture très partiellement restitués au sol, sont chroniquement déficitaires, et les réserves du sol en ces éléments s'épuisent. Ainsi après 10 à 20 années de culture, selon les réserves minérales du sol, des déficiences minérales, notamment en potassium et en magnésium, apparaissent (planche couleur – photos 7 et 8).

Les exportations minérales pour les différents cations, par les récoltes et par les résidus de culture, représentent une fraction significative des réserves du sol (tableau 4.5). Le sol s'épuise donc d'autant plus rapidement que les apports minéraux et les restitutions organiques sont faibles.

Déficience potassique

Les apports de potassium sous forme d'engrais correspondent à 12,5 kg K (15 kg K_2O) pour 100 kg d'engrais NPKSB. Aussi ces apports sont très loin d'équilibrer les exportations minérales aux doses d'engrais appliquées par les agriculteurs. Compte tenu des faibles réserves minérales du sol, le statut potassique et également le statut magnésien des sols ferrugineux typiques sont extrêmement fragiles. L'exportation annuelle varie de 5 à 50 % du potassium échangeable de l'horizon de 0 à 20 cm en fonction de la culture et du mode de gestion des résidus de culture. Les bilans minéraux pour tous les cations sont chroniquement déficitaires compte tenu de la gestion actuelle des résidus de culture et des apports minéraux limités.

Déjà en 1993, la question de l'émergence de déficiences potassiques était soulevée au Mali, en particulier dans l'ancien bassin cotonnier de Koutiala. L'analyse des données des fertilisations et des rendements de la Compagnie malienne de développement des textiles (CMDT) a permis d'établir le bilan potassique d'une rotation triennale cotonnier-sorgho-sorgho couramment pratiquée à l'époque (tableau 4.6).

Tableau 4.6. Bilan potassique au Mali dans une rotation cotonnier-sorgho-sorgho sur trois campagnes.

Culture	Fumure K (kg/ha)		Exportations K (kg/ha)		Bilan K (kg/ha)
	Engrais	Fumier	Récolte	Résidus	
Cotonnier	12	17	11	16	2
Sorgho 1	4	17	5	52	- 36
Sorgho 2	4	17	5	52	- 36
Bilan sur 3 ans					- 70

Le bilan moyen annuel accuse un déficit de l'ordre de 23 kg K/ha/an (30 K₂O/ha/an). Cette évaluation confirme les résultats d'enquêtes par diagnostic foliaire sur cotonnier, réalisées en 1977 et en 1988 en milieu paysan, mettant en évidence un accroissement significatif des cas de présomption de déficience potassique de 3 % des parcelles cultivées en cotonnier en 1977 à 14 % en 1988. L'appauvrissement en éléments minéraux consécutif à des bilans chroniquement déficitaires concerne également mais dans une moindre mesure le calcium et le magnésium.

Grille d'aide à la décision pour la fertilisation minérale du cotonnier

En réponse à ces évolutions des déficiences minérales, une grille d'aide à la décision pour la fertilisation minérale du cotonnier a été élaborée.

Cette grille comporte deux niveaux (tableau 4.7) :

- le premier niveau concerne la fertilisation phospho-potassique et prend en compte le nombre d'années depuis la mise en culture et le passé cultural de la parcelle ;
- le second niveau concerne la fertilisation azotée de la parcelle de cotonnier, qui tient compte de la période de semis.

Acidification des sols comme conséquence inquiétante de bilans minéraux déficitaires

La baisse des éléments minéraux du complexe d'échange du sol correspond à l'acidification progressive des sols. En corollaire de cette acidification, on observe une diminution des rendements et des productions de biomasse en général. De ce fait, la part de la biomasse recyclée au sol (racines, résidus de culture) diminue également, entraînant une baisse du taux de matière organique du sol (figure 4.22). Le processus d'acidification est rendu d'autant plus délicat à maîtriser que la composante organique de la capacité d'échange cationique CEC se trouve diminuée, ce qui influe aussi défavorablement sur la structure du sol. L'apparition d'ions aluminium sur le complexe d'échange correspond à une aggravation avec les phénomènes de toxicité aluminique et préfigure la « stérilité » du milieu comme stade ultime de son évolution (figure 4.25).

La minéralisation biologique des apports de paille et des résidus de culture contribue à regarnir la CEC en libérant du calcium (Ca⁺⁺), du magnésium (Mg⁺⁺) et du potassium (K⁺) et à ralentir ainsi le processus d'acidification du sol (traduit par un taux d'aluminium échangeable d'autant plus élevé que le sol est acide). Aussi, le processus d'acidification des sols, par « désaturation » du complexe d'échange en bases échangeables, demeure le processus moteur de l'évolution des sols de savanes compte tenu des systèmes de culture pratiqués dans la plupart des situations.



Épuisement et acidification des sols : exemple des terres de Barre au Bénin

Le dispositif d'Aplahoué, mis en place en 1970, est implanté sur terre de Barre dans la province du Mono. Les terres de Barre correspondent à des formations alluviales, d'origine continentale, de la fin de l'ère tertiaire. Les sols rouges profonds, 6 à 10 m, qui s'y sont développés se différencient essentiellement par un lessivage plus ou moins prononcé affectant la texture des horizons de surface et le pH. Dans ce contexte, l'évolution de la fertilité est caractérisée par l'acidification du sol en fonction des systèmes de culture pratiqués.

Tableau 4.7. Exemple de grille de fertilisation au Mali.

Niveau de fertilisation et critère de choix			P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	N (kg/ha)
Premier niveau	Parcelle de moins de 5 ans de culture continue	Terre de culture ancienne après une longue jachère (5 à 10 ans)	50	25	
		Terre marginale n'ayant jamais été cultivée en raison de ses faibles aptitudes	50	50	
	Parcelle de 5 à 10 ans de culture continue	Type 1 : cotonnier tous les 3 ans (ou plus)	30	25	
		Type 2 : cotonnier tous les 4 ans (ou moins)	50	50	
	Parcelle de plus de 10 ans de culture continue		30	100	
Deuxième niveau		Semis précoce (25/05 au 10/06)			45 à la levée + 35 à 45 jours
		Semis du 10/06 au 25/06			50 à la levée
		Semis du 25/06 au 10/07			30 à la levée

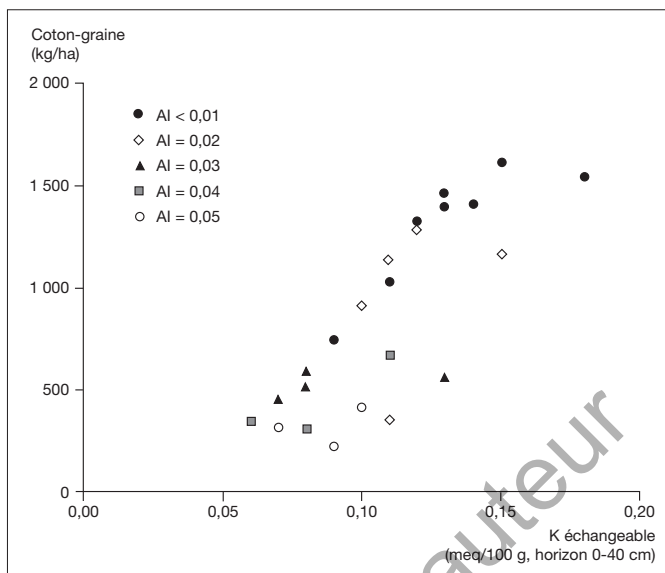


Figure 4.25.

Rendement de la culture en fonction du potassium et de l'aluminium présents dans les sols.

Ce dispositif est conduit sous une succession annuelle de maïs et de cotonnier. Dans une première phase (1970-1980) dite d'épuisement, l'évolution de la fertilité du sol a été suivie sous différents modes de fertilisation minérale et de gestion des apports organiques. Dans ce dispositif factoriel, la phase d'épuisement était étudiée à travers six traitements, comprenant deux modalités pour la fertilisation minérale (témoin non fertilisé, fertilisation minérale avec l'engrais 115 N + 72 P₂O₅ + 60 K₂O/ha/an) et trois modes de gestion des apports organiques (exportation totale des résidus de culture, restitution directe des résidus de culture, restitution directe des résidus de culture avec 10 t/ha/an de pailles provenant de jachères extérieures). Les rendements observés à la fin de la phase d'épuisement sont indiqués dans le tableau 4.8.

Au terme de la phase d'épuisement, des prélèvements de terres ont été effectués sur chacune des 48 parcelles élémentaires du dispositif selon 5 horizons (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-50 cm et 50-70 cm).

La fumure minérale n'apporte que du K. Tant que les réserves du sol permettent une nutrition potassique satisfaisante, les rendements se maintiennent, mais les concentrations en Mg et Ca de la CEC baissent, ce qui correspond à l'effet acidifiant de la fumure minérale.



Tableau 4.8. Rendements des cultures de maïs et de coton selon des modalités d'utilisation des résidus de culture.

Gestion des apports organiques	Maïs (kg / ha)		Coton (kg / ha)	
	Non fertilisé	Fertilisation minérale	Non fertilisé	Fertilisation minérale
Résidus exportés	43	686	21	207
Résidus restitués	347	1346	256	855
Résidus restitués + pailles	2469	3205	1895	2304

Les effets de la fertilisation minérale, de la restitution des résidus de culture et du paillage sur les principales caractéristiques indiquent (figure 4.25) :

- une acidification de 0,5 pH due à la fumure minérale (aux doses d'engrais utilisées 115 N + 72 P₂O₅ + 60 K₂O/ ha / an), spécialement entre 20 et 50 cm de profondeur et particulièrement liée au calcium et au magnésium ;
- l'enrichissement relatif en P₂O₅ assimilable et en K échangeable avec les apports minéraux ;
- l'absence d'effet de la fumure minérale sur la matière organique du sol ;
- un effet positif des résidus de culture sur la matière organique du sol, une meilleure garniture cationique du complexe, essentiellement pour le Ca et le K, un effet sur le pH effectif en deçà de 20 cm ;
- l'effet le plus marqué du paillage sur la matière organique du sol, sur le pH et sur la garniture du complexe d'échange cationique (K, Ca, Mg) ;
- des évolutions du rendement en relation avec l'évolution du complexe d'échange, particulièrement avec statut potassique.

Effet d'hystérésis ou « mémoire du sol »

Ce même dispositif d'Aplahoué illustre l'effet d'hystérésis qualifié de « mémoire du sol » (figure 4.26). Il s'agit d'évaluer les effets induits par une phase de dégradation de la fertilité initiale d'un sol, ou phase d'épuisement, sur le potentiel de production au terme d'une phase de régénération qui suit la phase d'épuisement.

La question de l'origine de ce phénomène d'hystérésis converge avec les questions suscitées précédemment par les figures 4.23 et 4.24, concernant la variabilité de la réponse à l'intensification pour une même teneur en carbone du sol (MOS = 1,732 × C) au Mali, au Cameroun et au Bénin ou concernant la baisse progressive de l'efficacité des engrais au cours du temps au Cameroun.

Illustration des phénomènes d'hystérésis

La figure 4.26 présente en ordonnée les rendements exprimés en pourcentage du potentiel de production correspondant à la fertilité initiale du sol, et aux rendements annuels obtenus sur le système de culture le plus intensif avec apport d'une fumure minérale (F1), restitution des résidus de culture et apport de 10t/ha/an de pailles (à gauche, correspondant à la valeur 100 %). En comparaison, le système de culture utilisé dans la phase d'épuisement n'est pas fertilisé (F0), les résidus de culture sont restitués. Au terme de cette phase d'épuisement (à la 8^e année, soit après 16 cycles culturaux), le rendement ne représente plus que 20% du potentiel initial.

La phase de régénération qui succède à la phase d'épuisement de la 9^e à la 16^e année utilise le système de culture le plus intensif (fumure minérale [F1] + restitution des résidus de culture + 10t/ha/an pailles). L'objectif est d'évaluer le niveau d'efficacité de la régénération de la fertilité du sol dégradé. On observe que les rendements relatifs obtenus sur le système en régénération augmentent rapidement à 60% du

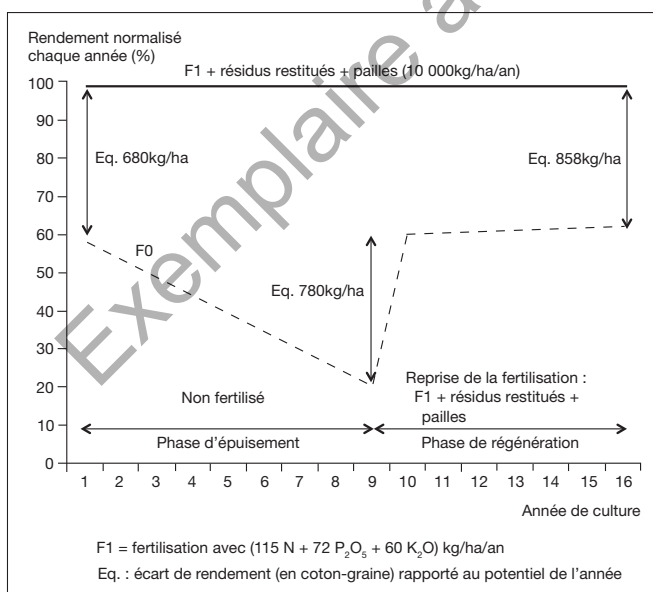


Figure 4.26.

Essai de régénération des sols au Bénin : illustration des phénomènes d'hystérésis.

Même en reprenant un système de culture le plus intensif pendant huit années après une phase d'épuisement des sols de la même durée, un écart au potentiel de production persiste : c'est l'effet d'hystérésis.



potentiel de production du système de référence. Cependant, l'écart au potentiel qui correspond à l'effet d'hystérésis, reste de l'ordre de 40 % du potentiel de production, à un niveau correspondant à 858 kg/ha de coton-graine au terme de 8 années de régénération.

Conclusion

L'hypothèse privilégiée est que ce phénomène d'hystérésis relève de la nature du carbone du sol et de sa minéralisation par des processus biologiques complexes; la recherche conduit actuellement des expérimentations, notamment au Togo et au Cameroun. Il est démontré qu'une fraction de carbone inerte dans le sol se traduit par un taux de minéralisation de la MOS d'autant plus faible que la teneur en carbone du sol est faible (figure 4.27, travaux conduits au Cameroun).

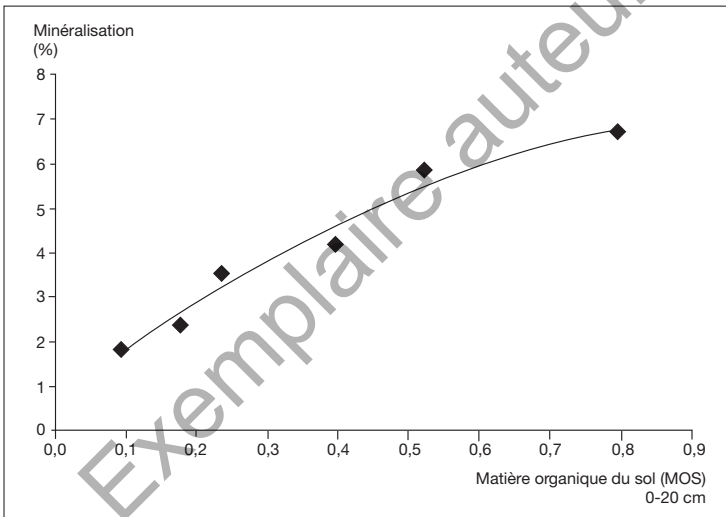


Figure 4.27.

Taux de la minéralisation de la matière organique du sol en fonction de la teneur en la matière organique. (résultats obtenus au Cameroun, 1990).

Composante biologique de la fertilité du sol

Johnny Boyer (†) et Hervé Guibert

La composante biologique de la fertilité des sols est celle qui a été la moins bien prise en compte par les agronomes de par les compétences spécifiques que requiert son étude et les difficultés et coûts pour la

caractériser. Elle fait référence à la capacité d'un sol à héberger une quantité et une diversité d'organismes vivants dont les activités participent au fonctionnement du sol et aux relations sol/plante. La minéralisation de la matière organique et son brassage, la mise à disposition des nutriments des plantes et leur recyclage, la structuration du sol, les activités racinaires, les symbioses, mais aussi les pathologies sont autant de processus directement liés aux organismes vivants dans le sol. Leur abondance, leur composition et l'intensité de leur activité dépendent étroitement des techniques culturales appliquées.

▮ Définitions

La faune du sol est composée de l'ensemble des animaux qui passent une partie importante de leur cycle biologique dans le sol (faune endogée) ou en surface (faune épigée), y compris dans la litière. Elle peut être classée selon le critère de taille.

La microfaune : les espèces ont une taille (longueur) inférieure à 0,2 mm, comprenant des protozoaires, quelques espèces de rotifères terrestres, des tardigrades et des nématodes.

La mésofaune : ce sont des invertébrés de longueur comprise entre 0,2 et 2 mm comprenant les nématodes géants, les acariens, les collemboles, les pseudo-scorpions, les protozoaires et de petits myriapodes. Les arthropodes de cette catégorie sont désignés sous le terme microarthropodes.

La macrofaune : ce sont les animaux de taille supérieure à 2 mm, comprenant les vers de terre, les larves d'insectes (majoritairement des larves de diptères et de coléoptères), les cloportes, les myriapodes, les chilopodes, les diplopodes, les limaces et escargots, les araignées et les opilions.

La macrofaune des sols est divisée en trois grands groupes aux rôles différents dans l'écosystème (Anderson et Ingram, 1993).

Les épigés : ils vivent dans la litière déposée à la surface du sol dont ils se nourrissent. Ce sont essentiellement des arthropodes (diplopodes, isopodes, larves de diptères, coléoptères) et des vers de terre pigmentés de petite taille. On peut aussi ajouter à ces saprophages, leurs prédateurs (chilopodes, fourmis et certains coléoptères).

Les endogés : ils vivent dans le sol et se nourrissent de la matière organique ou de racines, mortes ou vivantes. Ce sont essentiellement des termites humivores et des vers de terre non pigmentés de tailles et de formes variables.



Les anéciques : ils vivent dans le sol, à l'abri de galeries ou de nids qu'ils ont eux-mêmes construits, se nourrissent de litière qu'ils prélèvent à la surface. Ce sont essentiellement des vers de terre et surtout la grande majorité des termites.

Au sein de la macrofaune du sol, le groupe des « ingénieurs de l'écosystème » (vers de terre, fourmis et termites) joue un rôle important dans le fonctionnement du sol. Associés à la microflore du sol, ils participent activement au processus complexe et essentiellement biologique de la minéralisation de la matière organique et jouent un rôle central dans la fragmentation et dans l'incorporation de matière organique dans le sol, créant des conditions favorables pour l'activité et la répartition des micro-organismes de sol.

▮ Impact de la macrofaune sur les propriétés du sol

Les activités de la macrofaune et plus particulièrement celles des ingénieurs de l'écosystème aboutissent à la formation de structures biogéniques (galeries, chambres, boulettes fécales, monticules et turricules) influençant l'agrégation, les propriétés hydriques et l'assimilation des éléments issus de la minéralisation de la matière organique du sol.

Propriétés physiques du sol

Les propriétés physiques du sol sont affectées par la macrofaune du sol par l'intermédiaire de trois actions physiques majeures.

Formation de galeries

Pour la construction de leurs habitats (fourmilières, termitières) et leurs déplacements, la macrofaune du sol (et plus particulièrement les « ingénieurs de l'écosystème ») ingèrent et déplacent de grande quantité de sol aboutissant à la formation de galeries, de tunnels, de chambres et de monticules. Ces invertébrés (principalement certaines espèces de termites et les vers de terre anéciques) participent à l'incorporation de la matière organique dans le sol et réalisent un travail de décompactage en brassant et dispersant les éléments mis en œuvre. La formation des galeries génère un réseau stable et continu de macropores qui favorise l'aération, l'infiltration et le drainage de l'eau, la stabilité structurale, et fournit un milieu favorable (habitats) pour des organismes plus petits et la croissance des racines. En Australie, dans les cultures cotonnières, par son impact sur les propriétés hydriques des sols (augmentation de la porosité et de l'infiltration de l'eau),

le vers de terre *Heteroporodrilus mediterraeus* permet aux racines du cotonnier de mieux tirer profit de l'eau existant dans le profil durant les périodes plus sèches (Hulugalle *et al.*, 1999).

Formation d'agrégats

La formation d'agrégats du sol est la résultante du réarrangement et de l'organisation de particules minérales et organiques dans le tube digestif des vers de terre, des termites mais aussi d'autres macroarthropodes (diplopedes, chilopodes, isopodes). Les turricules de vers de terre, de texture molle au début, renferment de l'azote minéral, de l'ammonium et du phosphore assimilable. En séchant, l'ensemble piège la matière minérale dans une structure en agrégats, très compacte et plus stable. Les vers de terre et les termites jouent donc un rôle actif sur la matière organique des sols, en particulier sur la séquestration du carbone.

Brassage des horizons

Le brassage des horizons (bioturbation) est la résultante de la formation des galeries et des structures biogéniques. Certaines catégories écologiques (vers de terre anéciques et certaines espèces de termites) «ingénieurs de l'écosystème» et d'autres macroarthropodes brassent d'importantes quantités de sol lors de la mise en place des galeries et à travers la production des structures biogéniques. Ils ramènent en surface de la terre des horizons riches en matière minérale et enfouissent la terre des horizons organiques superficiels ainsi que de la litière.

Dans les savanes d'Afrique, Lavelle (1978) note que l'ensemble de la population de vers de terre peut ingérer annuellement jusqu'à 1000 t/ha de terre sèche. Ce brassage mobilise diverses fractions du sol et affecte sa texture, avec des conséquences importantes en terme d'agrégation (Blanchart *et al.*, 1990). La texture est plus fine dans les monticules mis en place par les termites que dans les horizons de surface adjacents. Les fourmis utilisent des particules grossières du sol pour la construction de leurs nids. Sous culture cotonnière, la présence des fourmis permet de modifier la qualité des sols par l'augmentation de la matière organique, et le changement de la structure du sol par l'accroissement de la quantité en sable et en limon et la diminution de celle de l'argile (Nkem *et al.*, 2000).

Autres propriétés du sol

La matière organique arrivant au sol subit des transformations dues à des actions physiques, chimiques et biologiques par la macrofaune du sol.



Actions physiques

Initiées par les saprophages, les actions mécaniques aboutissent à la fragmentation de la matière organique. L'action des termites, des cloportes, des myriapodes et des coléoptères réduit la dimension des particules de matière organique, de plusieurs centimètres à quelques microns, notamment dans les boulettes fécales des microarthropodes, ce qui augmente la surface attaquable par les bactéries et les champignons. Cette fragmentation favorise, à court terme, la libération d'éléments nutritifs assimilables par la plante tels que l'azote et le phosphore.

Actions chimiques et biologiques

Des relations mutualistes entre la microflore du sol et celle des tubes digestifs de la macrofaune permettent la digestion de la matière organique par les enzymes. La production de mucus dans le tube digestif des vers de terre associé au sol ingéré et à l'eau crée les conditions idéales (chaleur, humidité, matière organique fragmentée) pour les bactéries qui réactivent leurs capacités enzymatiques et digèrent la matière organique. Ces activités enzymatiques et microbiennes se poursuivent dans les structures biogéniques fraîches (boulettes fécales, turricules, monticules) issues de la fragmentation de la matière organique. Les termitières et les fourmilières, riches en matière organique, accumulent des bases échangeables, du manganèse et du carbone organique. De même, on a observé que le sol contenu dans les structures biogéniques renfermait 5 fois plus d'acide phosphorique et 11 fois plus de potasse assimilable que dans les couches superficielles du sol. La production de mucus demande un investissement énergétique important, mais les vers de terre récupèrent les produits de la digestion effectuée par les bactéries réactivées. Ce serait grâce à des symbiotes de leur panse rectale que les termites parviendraient à digérer la cellulose, les xylophages les composés aromatiques, ou les espèces humivores la matière organique humifiée.

Par leurs actions sur les compartiments physique, chimique et biologique des sols, la macrofaune du sol, et plus particulièrement les ingénieurs de l'écosystème, jouent un rôle clé dans les processus de la fertilité du sol. Dans le cadre de l'intensification écologique des sols, il est donc important que les pratiques culturales et agricoles innovantes soient mises en œuvre afin de restaurer et de maintenir la diversité, ainsi que d'optimiser les activités de ces ingénieurs, notamment par la fourniture régulière et diversifiée de matière organique fraîche.

Optimiser les fonctions de la matière organique du sol dans le processus de production

Michel Crétenet

▮ Synthèse des résultats obtenus dans les suivis

La baisse de la fertilité des sols dans les bassins cotonniers d'Afrique de l'Ouest et du Centre correspond à la baisse du taux de matière organique du sol (MOS) du fait du bilan carbone chroniquement déficitaires en raison :

- d'une restitution au sol des résidus de culture qui reste limitée à cause de leur utilisation pour le bétail et de la difficulté à les enfouir ;
- de volumes de biomasse insuffisants dans les apports organiques sous forme de fumier, de compost ou de terre de parc ;
- d'un taux de minéralisation de la matière organique du sol d'autant plus important que la fertilité du sol est élevée.

Aussi, l'entretien de la fertilité repose sur une stratégie d'intensification du cycle du carbone à l'échelle de la parcelle cultivée (figure 4.28) de façon à maintenir un certain volume de carbone dans le sol afin de bénéficier des effets de la minéralisation de la matière organique du sol

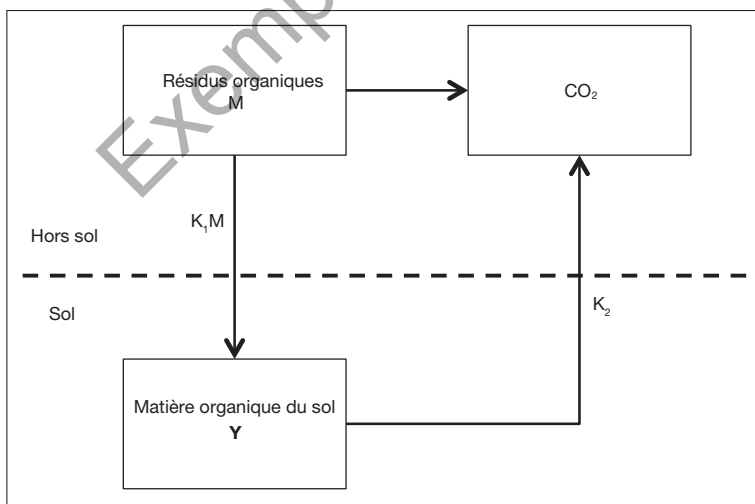


Figure 4.28.
Modèle de minéralisation (Héning – Dupuis).



qui soit compatible biologiquement et économiquement avec les objectifs de production. Plus les objectifs de production sont élevés, étant donné un contexte économique spécifique (rapport entre les coûts des intrants et le prix des productions), plus la contribution de la matière organique du sol à la nutrition minérale des cultures en complément des fumures minérale et organique doit être importante.

Aussi, au-delà d'un certain seuil, l'objectif de production est incompatible avec le niveau de fertilité du sol, c'est-à-dire avec son taux de matière organique. Il faut donc alterner des phases de capitalisation du carbone dans les sols et des phases de valorisation du carbone accumulé, à l'image de l'utilisation des jachères de longue durée qui assuraient la régénération de la fertilité des sols lorsque l'agriculture itinérante était possible. Les phases de « capitalisation » peuvent faire appel au non travail du sol, à des phases de deux ou trois ans de jachères améliorées (fumure starter, rabattage et enfouissement) à base de grandes graminées endémiques notamment (*Andropogon*, *Pennisetum*), ou à des plantes de couverture (*Mucuna*, *Brachiaria*, *Desmodium*), à l'optimisation des fonctions attribuées à la composante biologique du sol...

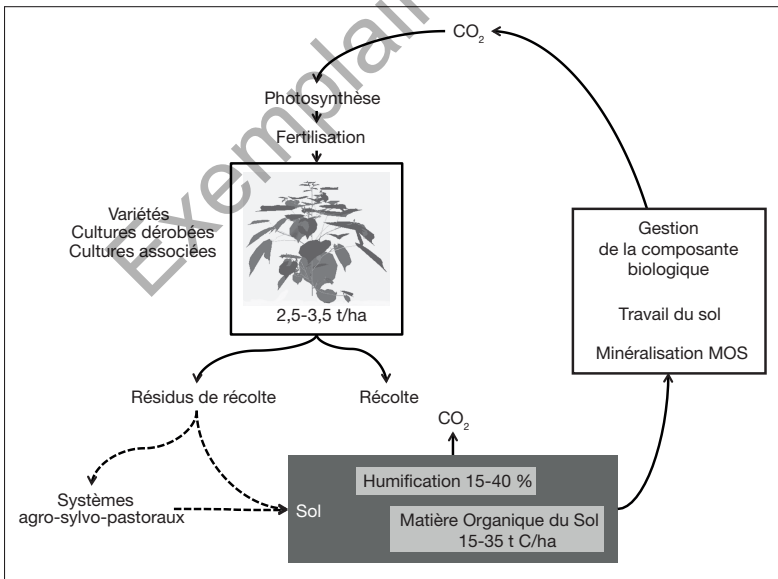


Figure 4.29.

Gestion intégrée de la fertilité des sols via la gestion du cycle du carbone dans les systèmes de cultures.

Durant les phases de valorisation du capital carbone, les fonctions de minéralisation de la matière organique du sol peuvent être optimisées pour l'ensemble des cultures en rotation dans le système de culture (figure 4.28) :

- en accroissant la biomasse produite et enfouie (M) ;
- en favorisant les coefficients iso-humiques (K_1) élevés, puisqu'ils correspondent à la part du carbone d'origine végétale transférée dans le compartiment la matière organique du sol ;
- en profitant au mieux du pic de minéralisation de début de saison des pluies. Le processus de minéralisation (K_2) de la matière organique du sol (Y) constitue à la fois un atout en favorisant la nutrition azotée des cultures et une contrainte en réduisant la capacité d'échange cationique (CEC) du sol.

Il découle des informations précédentes que la stratégie globale de l'entretien de la fertilité des sols consiste à établir un équilibre entre les entrées (K_1M) et les sorties (K_2Y) du compartiment carbone du sol (figure 4.28) ; cela se décline en trois ensembles de mesures pratiques (figure 4.29).

▮ Stratégie globale d'entretien

Maximiser les quantités de biomasse restituable au sol

Il s'agit de :

- privilégier des variétés aux plus faibles indices de récolte lorsque leurs potentiels de production sont équivalents ;
- développer les associations culturales pour une valorisation optimale du rayonnement incident ;
- valoriser le pic de minéralisation par des calendriers culturaux et associations culturales en vue de réduire les pertes d'azote par lixiviation ;
- développer les apports minéraux (phosphates naturels, sylvinite, dolomie) pour soutenir l'activité photosynthétique et limiter le processus d'acidification du sol.

Favoriser les coefficients iso-humiques (K_1) élevés

Il s'agit de :

- restituer un maximum de résidus de culture bruts (enfouissement, paillage) ou transformés (fumiers, composts, terres de parc) au sol ;
- réduire les pertes lors des processus de transformation de ces résidus ;
- privilégier les espèces végétales et les formes de résidus ayant les coefficients iso-humiques les plus élevés.



Profiter du pic de minéralisation

Il s'agit de :

- réaliser une préparation superficielle du sol permettant un semis précoce pour une levée synchronisée avec le pic de minéralisation ;
- choisir des associations de culture dont le développement racinaire différencié évite la compétition pour les éléments minéraux et leur perte par lixiviation ;
- améliorer l'activité biologique des sols.

La lutte contre les enherbements

Pascal Marnotte

Les mauvaises herbes induisent des pertes de production de l'ordre de 0,5 à 1 % du potentiel de production de la culture par jour d'enherbement du fait de la concurrence avec la culture. Même si cela se voit moins qu'une attaque de ravageurs, les mauvaises herbes, dénommées aussi communément adventices, sur lesquelles nous donnerons ici quelques informations, sont donc la cause de pertes importantes de production. Parallèlement, il faut souligner que les principales opérations de lutte décrites ci-après sont consommatrices de temps ou d'énergie pour être efficaces.

▮ Des adventices non spécifiques du cotonnier

La notion de mauvaises herbes inféodées à une culture est bien établie en climat tempéré, où la dynamique de la flore est soumise à des contraintes que l'on ne retrouve pas en zone tropicale, le facteur prépondérant étant la variation de température. En climat tempéré, la mise en place des diverses cultures s'étale tout au long de l'année à des époques où les températures sont suffisamment contrastées pour discriminer le développement des espèces végétales. Ainsi les espèces pouvant lever lors du semis d'un blé d'hiver en automne ne sont pas les mêmes que celles qui germent en conditions estivales dans une culture de maïs. On peut donc définir une flore des mauvaises herbes du blé d'hiver par opposition à celle du maïs.

En conditions tropicales, on ne peut pas caractériser un cortège floristique de mauvaises herbes en fonction d'une culture pluviale. Au sein d'une même unité géographique, les conditions écologiques (humidité du sol, température) sont semblables lors de la mise en place

des cultures pluviales, telles que le cotonnier, le maïs, le sorgho, le riz pluvial, l'arachide, l'igname, le manioc, etc. Dans une zone donnée, aucun facteur naturel ne permet l'individualisation de flores particulières à chacune des cultures. Il en est de même des pratiques culturelles. La localisation géographique qui conditionne la température et le rythme des pluies, le type de sol ou le niveau d'intensification sont des facteurs plus discriminants que la culture.

Seules les espèces parasites spécifiques sont inféodées à une culture, comme, par exemple, les espèces du genre *Striga* : *Striga hermonthica*, *Striga aspera* ou *Striga lutea* sur céréales (sorgho, mil, maïs, riz pluvial, fonio, canne à sucre) ou bien *Striga gesnerioides* sur légumineuses (niébé) ou encore *Rhamphicarpa fistulosa* sur riz irrigué. Ce n'est que dans le cas du riz irrigué qu'il est possible de donner une liste d'espèces typiques d'une culture en zone tropicale ; l'inondation permanente de la rizière irriguée crée des conditions suffisamment contraignantes pour sélectionner un petit nombre d'espèces adaptées au milieu aquatique.

▮ Les enherbements des cultures pluviales de la zone cotonnière

Les enherbements des cultures pluviales de la zone cotonnière correspondent à quatre groupes fonctionnels majeurs.

Le groupe des mauvaises herbes de début de cycle : il concerne la grande majorité des espèces issues de graines. Certaines de ces espèces sont difficiles à maîtriser, soit à cause de leur capacité à se régénérer après les sarclages (*Commelina benghalensis*), soit à cause de la faible efficacité des herbicides communs (*Rottboellia cochinchinensis* ou *Ipomoea eriocarpa*), soit à cause de leur vigueur (*Euphorbia heterophylla*).

Le groupe des espèces de fin de cycle : elles ont une nuisibilité indirecte sur la production en gênant les récoltes et en souillant les produits récoltés, telles *Eragrostis tremula*, *Hyptis spicigera*, *Vicoa leptoclada*, *Blumea aurita*, etc.

Le groupe des espèces vivaces à multiplication végétative par tubercules ou par rhizomes : il comprend notamment *Cyperus rotundus* et *Imperata cylindrica*.

Le groupe des espèces parasites : il comprend principalement *Striga hermonthica* sur les céréales, mais aussi *Striga gesnerioides* sur les légumineuses.



▮ Les interventions de désherbage

Pour les interventions par sarclage manuel, qui restent le mode d'intervention le plus répandu, leur réalisation dépend principalement de la disponibilité en main-d'œuvre sur l'exploitation. Les sarclages en culture attelée sont également pratiqués. Les autres opérations de désherbage peuvent se décliner tout au long du cycle cultural.

Pour les exploitations bénéficiant d'une capacité de travail du sol rapide (en culture attelée, par exemple), il est possible de mettre en œuvre la pratique du faux-semis, en particulier, sur des espèces à levée précoce, groupée et rapide comme *Euphorbia heterophylla* ou des espèces vivaces.

À la préparation des sols, un rattrapage de labour peut être effectué avec des herbicides totaux, comme le glyphosate, pour la destruction des souches mal enfouies de graminées ou de plantes à reproduction végétative comme *Commelina benghalensis*.

Les applications de post-semis pré-levée avec des produits à action racinaire jouent sur la rémanence de l'intervention et font bénéficier la culture d'une protection pendant la période critique de nuisibilité des mauvaises herbes (soit entre 15 et 45 jours après semis pour le cotonnier). Le choix du produit (ou du mélange de produits) permet d'adapter l'intervention à la flore potentielle de la parcelle, par exemple avec l'emploi de pendiméthaline dans le cas d'infestation par *Rottboellia cochinchinensis*.

Les applications de post-levée sont parfois proposées par la vulgarisation en culture cotonnière. Il s'agit de produits herbicides spécifiquement ciblés sur les graminées (*haloxyfop*, par exemple). Des applications de 2,4-D peuvent être effectuées en post-levée pour la lutte contre le striga en cultures de céréales.

Les cultures à grand écartement (comme le cotonnier, mais aussi le maïs, le sorgho, le mil, ou le manioc) peuvent recevoir des interventions en cours de cycle par sarclage mécanique, si les conditions pédoclimatiques le permettent, ou bien par application d'herbicides en traitement dirigé, c'est une méthode bien adaptée à la gestion des espèces de fin de cycle.

▮ Gestion des plantes parasites

Par ailleurs, le cotonnier joue un rôle dans la gestion des plantes parasites des céréales du genre *Striga*. Le cotonnier se comporte comme une plante piège des graines de striga en induisant leur germination

sans permettre la fixation du parasite puisque le cotonnier n'est pas un hôte de ces espèces. Il s'en suit une réduction du stock semencier de striga et une diminution du potentiel d'agressivité sur les cultures de céréales suivantes.

Quel que soit le système de culture, la rotation des plantes cultivées constitue l'élément primordial de la gestion des enherbements, afin d'éviter la multiplication des espèces mal maîtrisées. Le développement des différentes espèces de mauvaises herbes varie d'une culture à une autre selon le cycle cultural ou les relations de concurrence entre ces végétaux. Les pratiques de désherbage peuvent aussi être adaptées à chaque culture, ce qui permet la mise en œuvre d'interventions complémentaires d'un cycle cultural à l'autre, notamment l'alternance de matières actives herbicides sélectives et spécifiques de chacune des espèces cultivées.

Changement climatique et modalités d'adaptation de la culture cotonnière

Edward Gérardiaux

La culture cotonnière en zone tropicale est souvent familiale, pratiquée par des exploitations agricoles de petite dimension et dans un milieu peu artificialisé. Elle est de ce fait très dépendante du climat. Parmi l'ensemble des variables climatiques concernées, la température est celle dont on sait le mieux prévoir les évolutions à long terme et dont les effets sur les cultures sont relativement bien connus. Les autres variables, telles que la pluviométrie, l'enrichissement de l'atmosphère en CO₂, le vent et l'ensoleillement, affectent les cultures de cotonnier mais leur évolution à long terme et leurs répercussions sur les rendements ne font pas toujours consensus.

Les agriculteurs de ces zones devront s'adapter à des conditions climatiques nouvelles, globalement plus chaudes, parfois plus sèches, parfois plus humides, souvent plus brutales. Ils le feront notamment en modifiant la gestion technique de la culture. Le choix de la variété, les techniques de préparation du sol et de gestion de la fertilité devront améliorer la résilience du système face aux aléas climatiques. Quelques-uns des effets des principaux stress climatiques sur les cultures du cotonnier sont présentés et les perspectives d'adaptation aux stress et les possibilités de réduction des émissions de gaz à effet de serre sont examinées.



Effets des principaux stress climatiques

Effet de l'augmentation de température

La température est une variable déterminante du développement des plantes. Son augmentation a plusieurs effets sur les cultures (figure 4.30).

Effet sur le raccourcissement du cycle : chacun des stades de développement (stades phénologiques) des plantes se déclenche quand une certaine quantité de chaleur a été accumulée depuis le stade précédent. Ces sommes de températures varient selon les variétés. Il est démontré que l'augmentation globale de la température provoque un raccourcissement du cycle.

Effet sur l'augmentation de la respiration de maintenance : la respiration est proportionnelle à la température, et elle engendre une perte

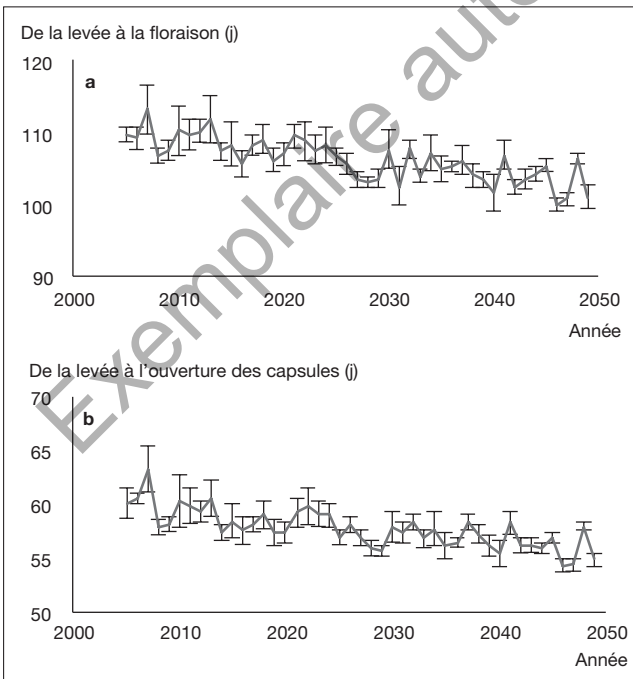


Figure 4.30.

Simulation des effets de l'augmentation de température selon six modèles globaux sur la phénologie du cotonnier au Nord-Cameroun. Projections jusqu'en 2050.

(Gérardeaux *et al.*, 2013).

de carbone. Cela est particulièrement important pour les plantes dites en C_3 , comme le cotonnier dont la photosynthèse est plutôt adaptée aux zones humides et sans excès de température.

Effet sur la modification du stress thermique : la production des organes reproducteurs peut être affectée par des températures extrêmes avec des sensibilités qui dépendent des variétés. L'augmentation globale des températures devrait augmenter les risques de stress liés aux températures élevées.

Effet sur l'augmentation de la demande en eau des cultures : la température intervient dans les phénomènes d'évaporation du sol et de transpiration de la plante. La hausse des températures augmentera les besoins en eau, et selon les situations, les conditions pluviométriques et/ou l'irrigation ne permettront pas nécessairement de les satisfaire. Cela devrait entraîner une augmentation des risques de stress hydrique avec des conséquences néfastes sur les productions.

Effet des variations de la pluviométrie

La pluviométrie est une des variables du climat les moins bien prédites par les modèles, en particulier sa distribution qui devrait être fortement affectée par le changement climatique, avec une augmentation attendue des événements violents (orages, tornades) et, globalement, de la variabilité entre années. En outre, une partie des pluies parfois très importante est perdue par ruissellement pour la culture, ou s'infiltre trop profondément dans le sol pour être accessible aux racines.

Autres effets

Plusieurs autres effets du changement climatique auront des répercussions sur les cultures de cotonnier, mais ils sont souvent mal prédits car indirects et font intervenir de nombreuses interactions.

Citons trois exemples.

L'augmentation de la teneur de l'air en gaz carbonique (CO_2 , principal gaz à effet de serre expliquant le changement climatique) agit favorablement sur la photosynthèse. Ses effets positifs sont surtout attendus sur les plantes en C_3 comme le cotonnier.

Le rayonnement solaire parvenant au sol sera modifié en lien avec la couverture nuageuse et les prédictions concernant cette variable sont relativement incertaines.



Les modifications du vent auront également des effets importants. On prévoit une augmentation de la vitesse moyenne du vent. Cela entraînera un accroissement de l'évapotranspiration potentielle et, donc, les risques de stress hydrique.

Effets des interactions entre variables climatiques

Les variables climatiques peuvent avoir des effets allant dans le même sens ou au contraire agissant de façon antagoniste, et ce parfois pour un même paramètre selon les fonctions physiologiques. L'étude des interactions repose sur l'utilisation de modèles de simulation qui prennent en compte une partie de ces interactions entre les variables climatiques et les techniques culturales sur les processus du développement et de croissance des cotonniers. Ces modèles sont nécessairement des simplifications de la réalité. En outre, en agriculture familiale dans les pays en développement, où de très nombreux stress biotiques et abiotiques se conjuguent dans les parcelles des producteurs, il n'est pas suffisant d'analyser les variables pédoclimatiques pour démêler les causes de variations du rendement agissant actuellement et susceptibles d'agir dans le futur.

▀ Perspectives d'adaptation aux changements climatiques

Adaptation à l'augmentation de température

La sélection variétale joue un grand rôle dans l'adaptation aux températures. En choisissant les durées de cycle de floraison et de maturité du cotonnier pour qu'elles coïncident avec les périodes favorables aux événements climatiques localement, la sélection variétale adapte progressivement les variétés aux changements climatiques. Par exemple, on sélectionnera des variétés dont l'ouverture des capsules se fait après la fin de la saison des pluies, ou encore dont la floraison commence lorsque les pluies sont bien installées.

Adaptation aux variations de la pluviométrie

De manière générale, si les pratiques culturales ne peuvent rien changer à la pluviométrie, elles permettent cependant de s'y adapter. Ainsi les choix de la variété (longueur du cycle) et de sa date de semis tentent de faire coïncider au mieux le développement de cette variété avec la distribution des pluies. Par ailleurs, certaines techniques comme le buttage cloisonné, les courbes de niveau et le mulch peuvent réduire fortement le ruissellement, et optimiser la consommation de

la ressource en eau (Soutou *et al.*, 2007; Naudin *et al.*, 2010). Enfin on peut adopter un niveau d'intensification raisonné sachant que plus celui-ci augmente (variété plus productrice, fertilité plus élevée via une fertilisation organique ou minérale plus importante, densité de semis plus forte), plus les besoins en eau augmentent.

▮ Conclusion et perspectives

Nombreuses sont les incertitudes sur les effets du changement climatique sur le rendement du cotonnier en agriculture familiale. À variété cultivée constante, on retient cependant que l'augmentation de température raccourcit le cycle des cultures, augmente les besoins en eau, les stress liés aux températures élevés et la respiration de maintenance des cultures, ce qui provoque une baisse des rendements. À l'inverse, la diminution des stress liés à l'enrichissement en CO₂ de l'atmosphère est un facteur favorable. D'autres aspects du changement climatique sont encore mal prédits tels que l'évolution de la pluviométrie, de la vitesse du vent, des événements violents ou encore du rayonnement solaire au sol.

Le cotonnier est une culture très appréciée des insectes. En conséquence, le complexe des ravageurs est important. Les changements climatiques auront certainement des effets perturbants sur les cycles des ravageurs et de leurs ennemis. Les répercussions sur l'état sanitaire des cultures, et donc sur les rendements et la qualité du coton, sont actuellement imprévisibles, mais ne seront certainement pas négligeables.

Pour faire face au changement climatique, d'une manière générale, il s'agit d'appliquer l'ensemble des pratiques agro-écologiques visant à améliorer les fonctions de régulation dans l'écosystème cultivé, et ainsi sa résilience. Enfin, l'amélioration variétale reste le meilleur moyen de s'adapter progressivement aux changements climatiques, d'où l'importance de conserver et de valoriser la biodiversité de l'espèce cultivée.



Photo 1. Fleur de *Gossypium barbadense*
(©Dominique Dessauw / Cirad).

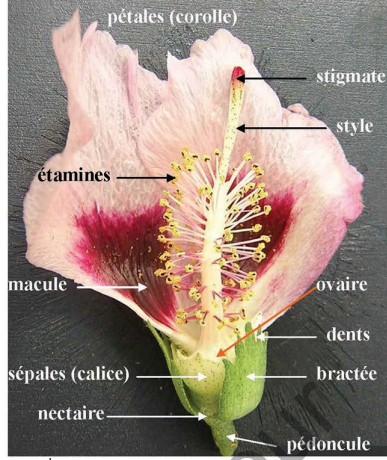


Photo 2. Description d'une fleur de cotonnier (fleur du cotonnier hexaploïde *G. hirsutum* x *G. aridum*)
(©Dominique Dessauw / Cirad).



Photo 3. Champ de cotonnier en floraison
(©Thierry Brévault / Cirad).



Photo 4. Marché villageois de coton-graine à la sortie du champ
(©Thierry Brévault / Cirad).



Photo 5. Observations dans des parcelles de cotonnier (©Thierry Brévault / Cirad).



Photo 6. Semis de cotonnier sur mulch (©Thierry Brévault / Cirad).

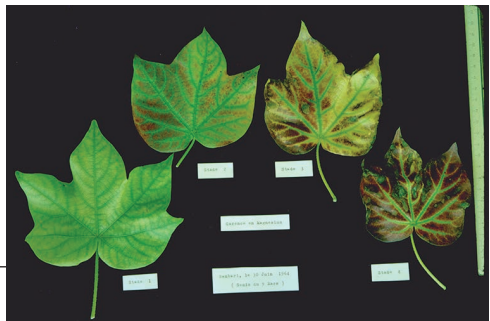


Photo 7. Carence en magnésium (© Cirad).



Photo 8.
Carence potassique
(© Cirad).



Photo 9.
Carence en bore
(© Cirad).



Photo 10.
Toxicité du manganèse
(© Cirad).

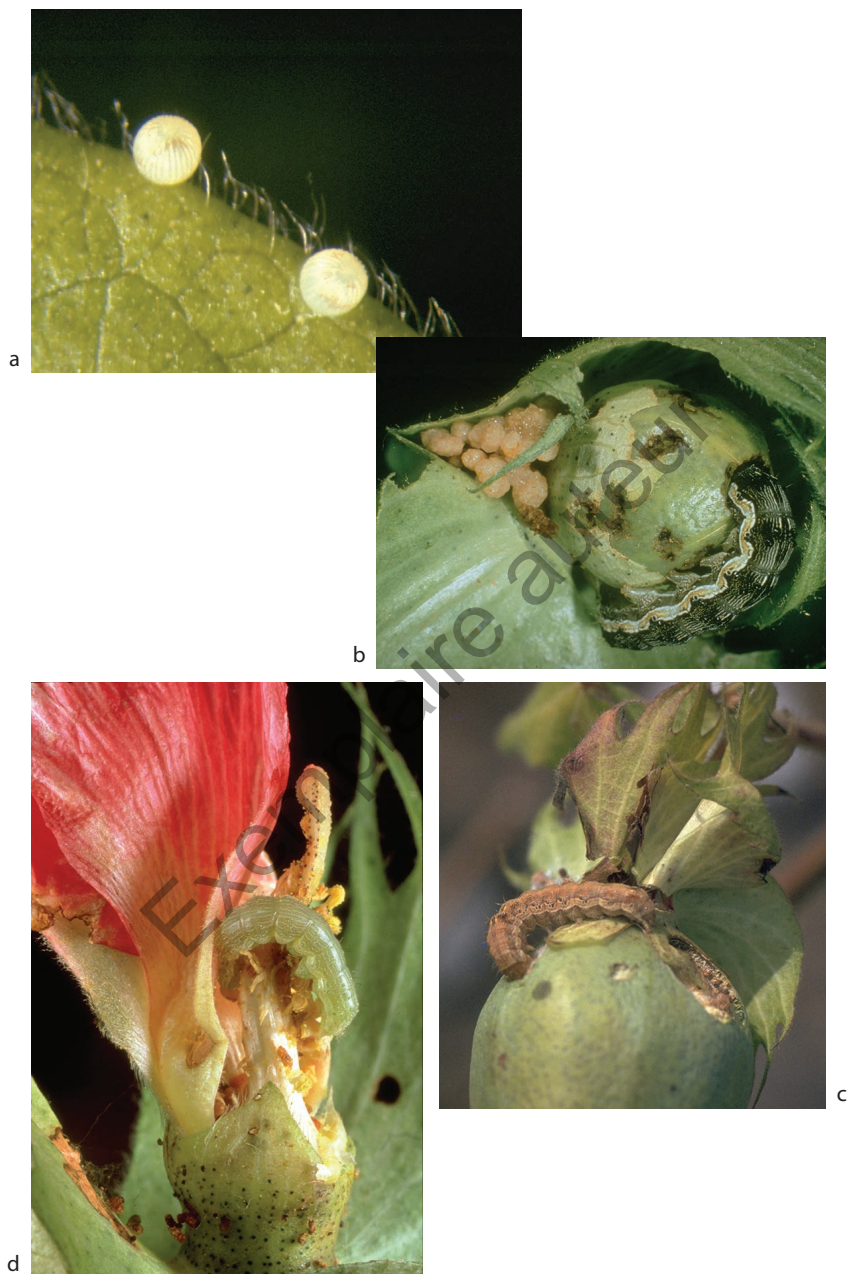


Photo 11. *Helicoverpa armigera* : œuf (a), trous de pénétration et chenille sur capsule (b) et (c) chenille sur bouton floral (d). (© Cirad)

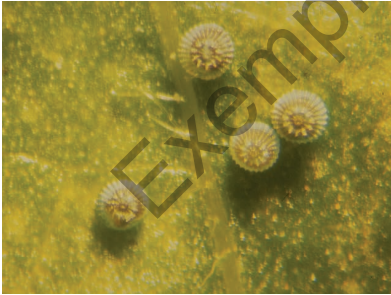


a



b

Photo 12. *Helicoverpa armigera* :
chrysalide dans le sol (a)
et papillon (b) (© Cirad).



a



c



b

Photo 13. *Earias* spp. : œufs (a)
et chenille (b) (c) (© Cirad).



a



b



c

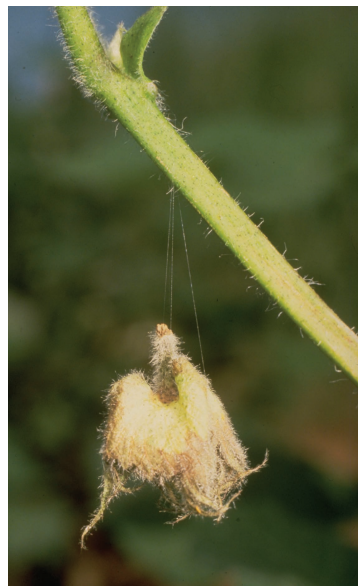
Photo 14. *Earias* spp. : écimage par une chenille (a) cocon (b) et papillon (c). (© Cirad)



a



b



c

Photo 15. *Diparopsis watersii* : œuf (a) et chenille (b). Bouton floral suspendu par des fils de soie (c). (© Cirad)



a



b

Photo 16.
Diparopsis watersii :
chrysalide dans sa coque
en terre (a) et papillon (b).
(© Cirad)



a



b

Photo 17. *Pectinophora
gossypiella* : chenille (a)
et fleur dite de rosette (b).
(© Cirad)



a

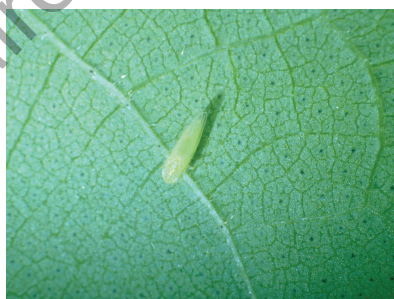


b

Photo 18. *Thaumatotibia leucotreta* : chenille (a) et son point de pénétration dans une capsule (b). (© Cirad)



a



b



c



d

Photo 19. Cicadelle : nymphe (a), adulte (b), dégâts sur feuilles de cotonnier (c) et virescence florale (d). (© Cirad)



a



b

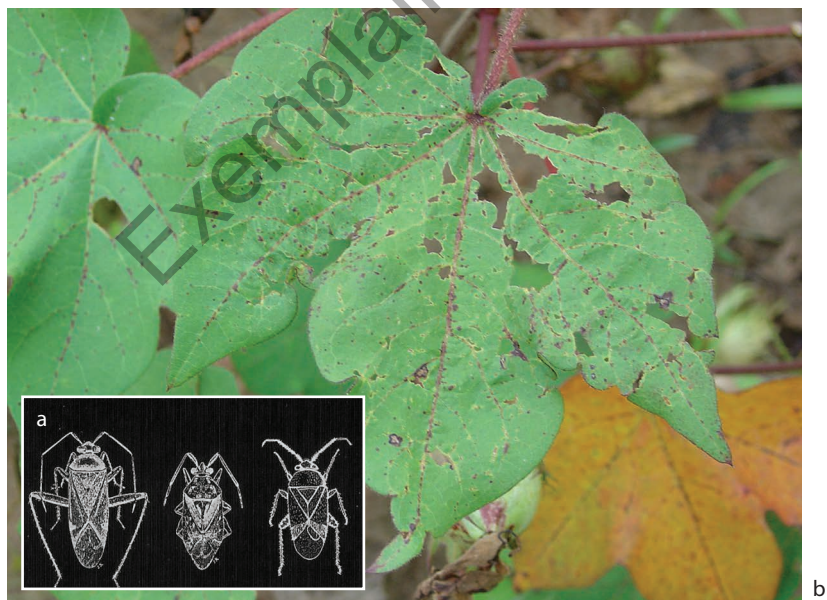
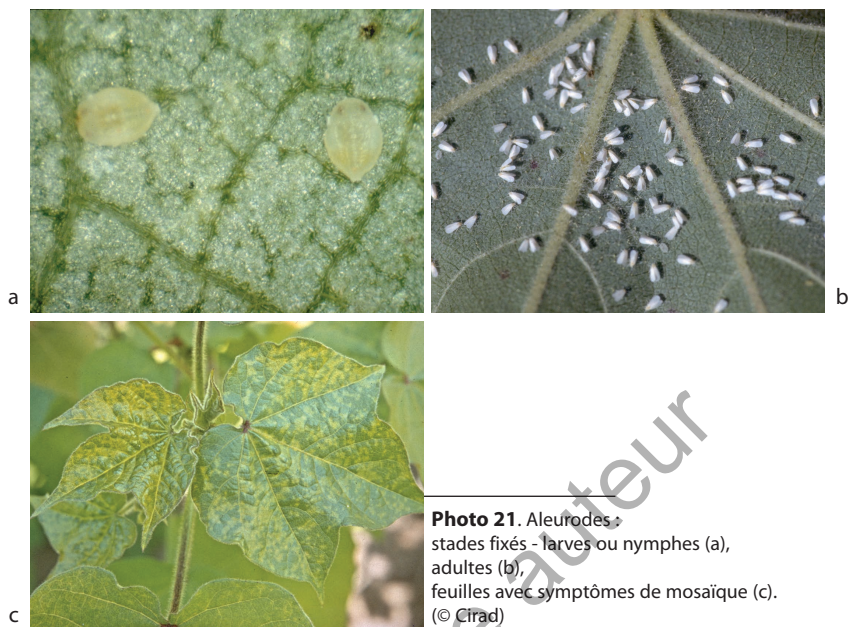


c



d

Photo 20. Pucerons aptères avec leurs cornicules (a), dégâts trophiques de pucerons sur jeunes plants (b), déjections sucrées de pucerons sous forme de gouttelettes (c), plant atteint de maladie bleue (d).
(© Cirad)





a



b



c



d



e

Photo 23. *Helopelthis schoutedeni* : adulte (a) et piqûres sur capsule (b), dégâts sur capsule (c), sur le feuillage (d) et sur tige (e). (© Cirad)



Photo 24. *Nezara viridula viridula* (a) (© Cirad), *Oxycarenus hyalinipennis* Costa (b) (© Pierre Silvie / IRD/Cirad), *Dysdercus* sp. (c) (© Cirad), et *Anoplocnemis curvipes* (d) (© Cirad)



a



b



c

Photo 25. Chenille de *Xanthodes graellsii* (a), cotonnier avec des feuilles enroulées par des chenilles d'*Haritalodes derogata* (b), et chenille d'*Haritalodes derogata* (c). (© Cirad)



Photo 26. Chenilles d'*Anomis flava* (a) et de *Spodoptera littoralis* sur organe fructifère (b), et jeunes chenilles de *Spodoptera littoralis* sur feuille (c).
(© Cirad)



Photo 27. Altise (chrysomèle) sur feuille de cotonnier (a), *Syagrus calcaratus* (b), et dégâts d'altises (c). (© Cirad)

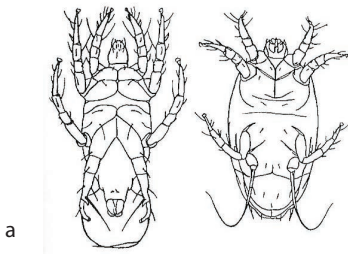


Photo 28. *Polyphagotarsonemus latus* (a), dégâts de *Polyphagotarsonemus latus* sur feuille (b), et *Lulus* (c). (© Cirad)



Photo 29. Exemple de pilosité sur feuille de cotonnier. (© Cirad)



5. Ravageurs et maladies du cotonnier, et gestion intégrée des ravageurs

Alain Renou et Thierry Brévault

En Afrique, les ravageurs du cotonnier, essentiellement des insectes, constituent une préoccupation phytosanitaire beaucoup plus importante que les agents phytopathogènes tels que les bactéries, les champignons, les mycoplasmes et les virus. En plus des dégâts directs ou indirects occasionnés par la destruction d'organes de la plante, les ravageurs peuvent avoir un rôle de vecteur (transmission) d'agents phytopathogènes.

Les ravageurs du cotonnier en Afrique

▮ Une grande diversité de ravageurs

En dehors de quelques cas très anecdotiques, les ravageurs du cotonnier en Afrique sont des invertébrés appartenant très majoritairement à l'embranchement des Arthropodes et, en dehors de quelques acariens et diplopodes, à la classe des insectes. Les acariens déprédateurs sont plutôt inféodés aux zones soudano-guinéennes de production et les diplopodes n'affectent que les levées. Les insectes déprédateurs sont très nombreux (plus de 200 espèces ont été identifiées dans certains pays, figure 5.1) et la majorité sont des coléoptères ou des hémiptères. Beaucoup de ces insectes sont communs aux zones de productions cotonnières en Afrique. Cela est vrai pour 80 % des espèces de Lépidoptères qui représentent moins de 20 % des espèces déprédatrices dans chacun des pays. Enfin, malgré cette grande diversité de la faune déprédatrice, seules quelques espèces sont régulièrement très nuisibles.

▮ Une incidence justifiant leur contrôle

Tout au long d'une campagne agricole, le cotonnier peut subir des dégâts de la part des ravageurs. Ainsi, tous les organes de la plante sont susceptibles d'être endommagés : graines, cotylédons, racines,

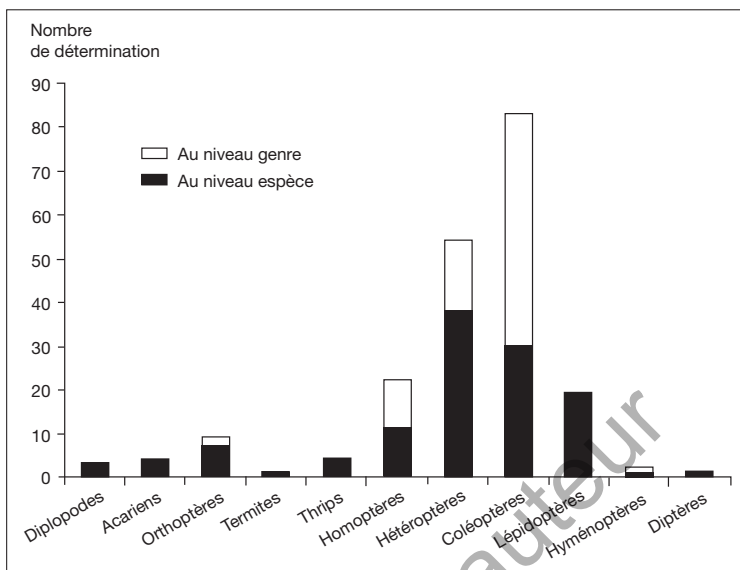


Figure 5.1.

Diversité des ravageurs du cotonnier au Mali (Michel, 1999).

Maintenir la connaissance de l'ampleur de cette diversité nécessite un effort important, qui n'a pas pu être reconduit depuis cette publication.

tiges et rameaux, feuilles et organes fructifères (boutons floraux, fleurs et capsules). Qu'il s'agisse de destruction partielle ou totale d'organes, de ponction de sève, d'injection de salive toxique ou de transmission de germes, ces attaques affectent, directement ou indirectement, le rendement et très souvent la qualité de la production.

L'incidence de l'ensemble des ravageurs varie en moyenne de 35 à 55 % des potentialités agricoles selon les pays (figure 5.2). Cependant, ces moyennes couvrent de grandes variations suivant les années et les régions dans un même pays. En particulier, l'incidence des ravageurs sur les rendements cotonniers en zones soudano-guinéennes est souvent plus élevée qu'en zones soudaniennes et soudano-sahéliennes.

L'incidence de ces ravageurs sur la qualité de la production s'observe principalement à travers une dégradation de la couleur de la fibre (accroissement du taux de coton jaune) qui peut toucher 15 % de la production. Dans certaines situations, la fibre de coton est également dépréciée en raison de sa pollution par des sucres (miellats) sécrétés principalement par des pucerons et des aleurodes qui rendent difficiles certaines étapes du processus industriel (cardage, étirage, filage) et



favorisent le développement de fumagine (champignon noir). Enfin, des fibres immatures, sans utilisation possible, sont produites par des capsules dont l'ouverture devient trop précoce à la suite d'attaques de certains ravageurs.

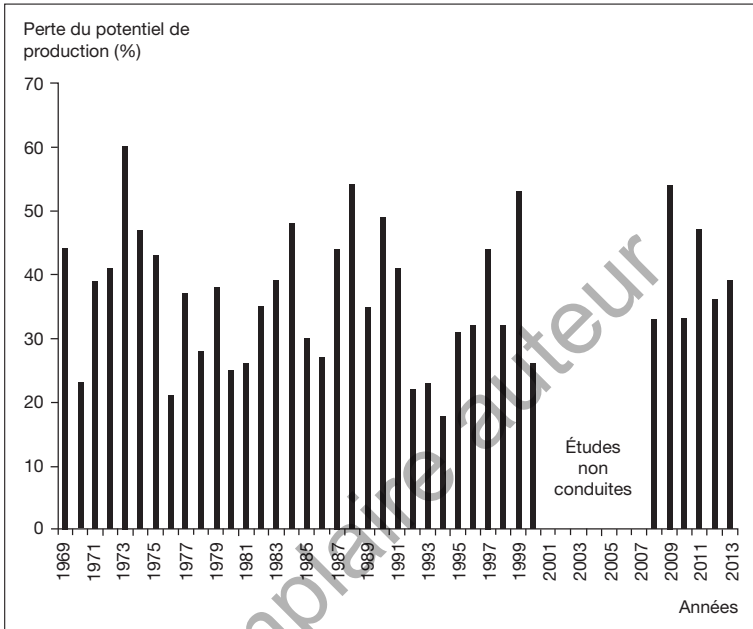


Figure 5.2.

Expression des pertes observées rapportées à la valeur du potentiel (résultats obtenus au Mali de 1969 à 2013).

Le complexe des chenilles de la capsule

Dans tous les pays africains producteurs de coton, ce complexe de ravageurs est le plus préjudiciable à la culture cotonnière. En effet, les chenilles de la capsule affectent directement la production car elles provoquent des chutes d'organes fructifères jeunes (âgés de moins de 40 jours) et détériorent, partiellement ou totalement, le contenu des capsules plus âgées. De plus, elles favorisent le développement d'agents bactériens et/ou fongiques responsables de pourritures qui diminuent la qualité de la fibre des capsules attaquées ou la rendent impropre à toute utilisation. Enfin, leur caractère multivoltin (souvent 3 générations pendant le cycle du cotonnier), leur fécondité élevée,

leur mobilité, la polyphagie et/ou le développement endophage (à l'intérieur des organes attaqués) de certaines espèces ne facilitent pas toujours leur contrôle.

Helicoverpa armigera

Voir planche couleur – photos 11 et 12.

Dans ce complexe, l'espèce la plus préoccupante est actuellement *Helicoverpa armigera* (Hübner), en particulier parce que dans tous les pays concernés, des résistances aux insecticides pyréthrinoides ont été observées au sein de ses populations à partir du milieu des années 1990. La colonisation des parcelles de coton se fait par les populations de cette noctuelle, en provenance de plantes hôtes locales (adventices comme *Cleome* spp. au Cameroun, maïs) ou issues de migrations à plus longue distance (figure 5.3). La colonisation des cotonniers s'effectue généralement au début de la floraison des cotonniers (50 à 60 jours après la levée), et parfois dès la mise en place des organes fructifères (boutons floraux, 30 à 35 jours après la levée). Les papillons de cette noctuelle déposent individuellement leurs œufs (de couleur crème ou blanchâtre), préférentiellement sur les feuilles du bouquet terminal des plants.

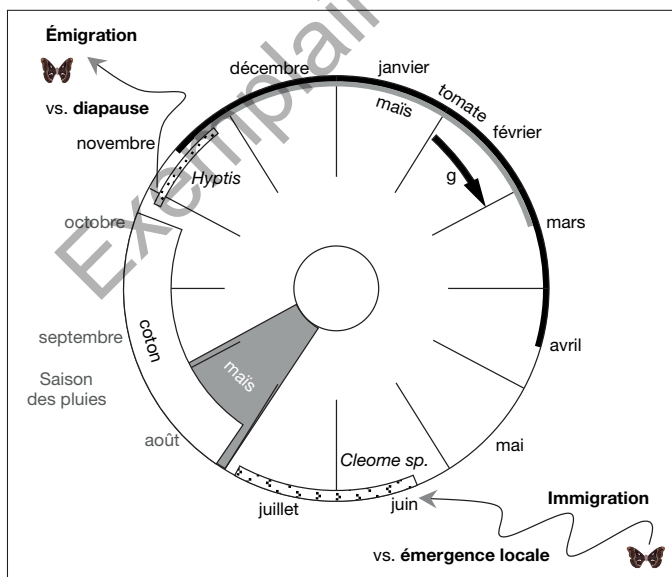


Figure 5.3.

Cycle d'*Helicoverpa armigera*. (© Thierry Brévault / Cirad)

g : génération



Quelques jours après (2 à 3 jours en moyenne), des néonates (jeunes chenilles) éclosent et se nourrissent principalement du limbe de feuilles, de bractées et de bourgeons terminaux. Les organes fructifères attaqués par des chenilles plus âgées présentent un trou de pénétration très net avec les excréments de la chenille à l'extérieur.

La coloration des chenilles est très variable mais la présence de deux lignes latérales claires est caractéristique de cette espèce. Ces chenilles accomplissent plusieurs mues (4 à 5) et, au dernier stade larvaire, elles peuvent dépasser 3 cm de long. À la recherche de nourriture, ces chenilles se déplacent beaucoup, au besoin en changeant de plant. Ce comportement, associé à une destruction d'organes fructifères souvent incomplète mais suffisante pour provoquer leur abscission (chute) lorsqu'ils sont jeunes, explique la grande nuisibilité de cette espèce pour le cotonnier. Des études de voracité en laboratoire ont montré qu'un individu attaquait en moyenne 24 boutons floraux et 8 capsules au cours de sa vie larvaire. Au terme de leur développement (une vingtaine de jours après leur éclosion dans les conditions de température des zones de production cotonnière en Afrique), ces chenilles migrent vers le sol au sein duquel elles se nymphosent (se transforment en chrysalides) à faible profondeur.

De nouveaux adultes émergent des nymphes (10 à 14 jours après s'il n'y a pas de diapause). Après accouplement, les femelles peuvent de nouveau déposer des œufs sur les cotonniers. Lorsqu'en fin de cycle, les cotonniers deviennent impropres à l'alimentation des femelles adultes comme à celle des chenilles, les papillons femelles explorent d'autres plantes cultivées, comme la tomate ou le maïs en zone cotonnière, ou des plantes non cultivées comme *Hypitys* spp. (adventice) pour y déposer leurs œufs.

***Earias* spp.**

Voir planche couleur – photos 13 et 14.

Dans ce complexe des chenilles de la capsule, les espèces *Earias insulana* (Boisduval) et *E. biplaga* (Walker) sont également très nuisibles. Elles sont présentes dans tous les pays africains et dominent très souvent les autres espèces dans les dénombrements larvaires, en particulier en début de campagne. L'espèce *E. biplaga*, exigeant une hygrométrie élevée et ne supportant pas des températures très fortes (à partir de 30 °C), est plutôt inféodée aux zones soudano-guinéennes alors que l'espèce *E. insulana* est plutôt présente dans les zones soudaniennes et soudano-sahéliennes. Si des différences physiques

et de coloration permettent de distinguer ces deux espèces (au stade larvaire comme au stade adulte), la grande variabilité de chaque caractère au sein d'une même espèce peut conduire à des confusions. Des différences biologiques existent entre ces deux espèces mais, dans leurs relations avec le cotonnier, leurs comportements sont très semblables. Les œufs (d'un bleu-vert très clair) sont déposés individuellement et préférentiellement sur les jeunes pousses puis, en fonction de leur apparition sur le plant, sur des pédoncules, des bractées et des organes fructifères, mais très rarement sur les feuilles. Les chenilles sont dites épineuses car elles présentent des épines charnues latérales et dorsales sur presque tous les segments abdominaux et thoraciques. Ces chenilles peuvent forer la tige principale des cotonniers à partir de son sommet.

Lorsque le forage de la tige principale (appelé écimage) est profond, la cime du cotonnier flétrit, mais si l'apex seul est détruit, les bourgeons axillaires peuvent ultérieurement donner naissance à de nouveaux axes monopodiaux, comme la tige principale.

Ces dégâts s'observent surtout en tout début de campagne, et plus rarement par la suite, car les sources d'alimentation des chenilles se diversifient. En effet, ces chenilles se nourrissent essentiellement d'organes fructifères (boutons floraux, fleurs et capsules) qu'elles perforent comme le font les chenilles d'*H. armigera* mais sans rejeter systématiquement leurs excréments à l'extérieur de l'organe attaqué. Parfois, seule la surface de ces organes fructifères, plus particulièrement des fleurs, est dévorée et l'organe fructifère attaqué n'est pas totalement détruit. Comme pour *H. armigera*, une chenille d'*Earias* spp. peut endommager plusieurs organes fructifères. Par leurs attaques d'organes fructifères plus que par leurs écimages (à moins qu'ils ne soient très précoces), les espèces d'*Earias* spp. sont responsables de pertes de production significatives. Même après quatre mues, les chenilles dépassent rarement 2 cm de long et au terme du dernier stade larvaire (environ deux semaines après leur éclosion) elles tissent un cocon de soie en forme de coque de navire inversée de couleur grisâtre pour entrer en nymphose à l'endroit où elles se nourrissent (très rarement dans le sol, contrairement aux chenilles d'*H. armigera*). Environ deux semaines plus tard (aucune diapause n'étant signalée pour ces espèces), de ces cocons émergent des papillons qui, après accouplement, pondent sur d'autres cotonniers ou sur des Tiliales ou d'autres Malvales (Malvacées ou Tiliacées, cultivées ou sauvages).



Diparopsis watersi

Voir planche couleur – photos 15 et 16.

Cette espèce était auparavant considérée comme l'espèce la plus redoutable de ce complexe des chenilles de la capsule dans les zones soudaniennes et soudano-sahéliennes. Actuellement, *Diparopsis watersi* (Rothschild) occupe très rarement la première place dans les dénombrements larvaires sur cotonnier, sa seule plante hôte. L'utilisation des pyréthrinoïdes depuis le début des années 1980 et l'emploi de nouvelles techniques (ultra bas volume et très bas volume), facilitant la réalisation des applications d'insecticides et protégeant mieux les cimes des cotonniers, en sont peut être responsables. Cette espèce colonise la culture cotonnière un peu plus tardivement qu'*Earias* spp. et *H. armigera* probablement en raison de l'attente des conditions qui déclencheront les levées de diapause de ses nymphes (ou chrysalides). Les œufs, de couleur bleu clair à vert émeraude (rendant leur détection facile sur un cotonnier), sont déposés généralement individuellement au niveau des boutons floraux, des fleurs, des jeunes capsules, des feuilles et des tiges et des rameaux.

L'émission de certains composés volatils par les boutons floraux et/ou les fleurs de cotonniers pourrait attirer les femelles adultes en quête d'un site de ponte. À température égale, l'incubation des œufs dure en moyenne un peu plus longtemps que celle des espèces précédentes (+ 1 jour). La chenille nouvellement éclos (de couleur blanc-crème en dehors de la capsule céphalique, de la plaque anale et des pattes thoraciques qui sont brunes puis noires) se déplace à la recherche d'un bouton floral. Ce n'est qu'à partir du troisième stade larvaire qu'une chenille peut s'attaquer à une capsule.

À partir du deuxième stade larvaire, un dessin caractéristique en forme de flèche rouge (une bande longitudinale flanquée de deux bandes latérales, toutes les bandes étant non jointives) apparaît sur presque chaque segment de la chenille. Au fur et à mesure du développement de la chenille, ce dessin devient de plus en plus diffus mais sa coloration rouge rosé est gardée alors que l'ensemble du corps de la chenille devient plutôt verdâtre. Au cours de leurs déplacements, moins nombreux que ceux des chenilles des espèces précédentes (souvent un seul déplacement : soit deux organes fructifères attaqués par chenille), les chenilles sécrètent des fils de soie. Ces fils de soie peuvent alors retenir suspendus, pendant quelques temps avant leur chute (sous l'action du vent), les jeunes organes fructifères attaqués. Lorsque des organes fructifères apparaissent suspendus de la sorte, la

présence de *D. watersi* au sein d'une culture ne fait alors aucun doute. Une chenille peut, soit dévorer la totalité du contenu d'une jeune capsule (âgée de moins de 20 jours), soit se nourrir exclusivement des graines d'une ou deux loges d'une capsule plus âgée où elle finira en général son développement avant d'aller se nymphoser. En autorisant la pénétration d'agents contaminant bactériens et/ou cryptogamiques et en provoquant l'ouverture précoce de capsules, elle sera responsable de la dépréciation de la fibre des loges non attaquées. Par son comportement alimentaire, caractérisé par des attaques d'organes fructifères moins nombreuses, et son apparition plus tardive, cette espèce est moins nuisible qu'*H. armigera* ou *Earias* spp. Les baisses de production sont d'ailleurs souvent moins élevées les années où *D. watersi* domine le complexe des chenilles de la capsule. Au terme de son développement larvaire (en moyenne après 5 mues, environ 3 semaines après l'éclosion de la néonate), la chenille, qui peut alors mesurer jusqu'à 3 cm de long, se nymphose dans le sol au niveau d'une anfractuosité ou à faible profondeur. La chrysalide, protégée par une coque en terre confectionnée par la chenille, donne naissance à un papillon moins de trois semaines après s'il n'y a pas de diapause. La diapause, qui est déclenchée par des facteurs externes, principalement la température, peut durer plusieurs mois (au minimum 3 mois).

Pectinophora gossypiella

Voir planche couleur – photo 17.

Connu sous le nom de ver rose, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) est également un redoutable ravageur des organes fructifères du cotonnier, mais il sévit principalement dans les zones soudano-guinéennes. Toutefois, du fait de l'action de l'homme (transport de semences, de graines pour les huileries et même de fibre) et en raison de caractéristiques biologiques favorables (diapause larvaire, bonnes aptitudes au vol des adultes et grandes facultés d'adaptation), sa présence a été détectée (car des confusions avec d'autres espèces sont possibles) dans d'autres zones de production, même si ce fut parfois de manière temporaire (Sénégal, Mali).

La nuisibilité de cette espèce tient moins aux chutes d'organes fructifères jeunes qu'elle provoque qu'aux destructions partielles ou totales de capsules qu'elle entraîne. Cette nuisibilité est toutefois atténuée par trois spécificités.

– lorsqu'une chenille s'attaque à une fleur en se nourrissant des tissus de la colonne staminale et des anthères, elle ne nuit généralement pas à son évolution ultérieure en capsule ;



- bien qu'une chenille évite en général de s'installer dans un organe fructifère déjà envahi par une autre chenille, il n'est pas rare d'observer à la récolte plusieurs chenilles de cette espèce au sein d'une même capsule (jusqu'à 6 chenilles parfois);
- les destructions partielles de capsules par *P. gossypiella* ne sont en général pas aggravées par le développement d'agents bactériens et/ou fongiques responsables de pourritures, contrairement à ce qui est observé avec d'autres ravageurs des organes fructifères.

Le nom de ver rose a été attribué à cette espèce en raison de la présence de deux zones transversales de cette couleur (la zone antérieure étant plus large et plus longue que la zone postérieure) sur chaque segment de la chenille à partir du troisième stade larvaire si son alimentation n'est pas exclusivement composée de boutons floraux ou de fleurs.

Les capsules âgées d'au moins deux semaines, plus précisément leurs bractées, qui apparaissent progressivement sur les cotonniers, sont les sites de ponte privilégiés par ce ravageur. Les œufs sont très petits et de couleur blanc crème (ivoire) et prennent une teinte rouge orangé juste avant l'éclosion de la larve (après 4 à 6 jours d'incubation). Cette jeune chenille part immédiatement à la recherche d'un organe fructifère. Deux types de dégâts sont spécifiques de ce ravageur, la fleur dite en rosette et la perforation des parois entre les carpelles.

En s'attaquant à un bouton floral proche de la floraison, le réseau de fils de soie secrété par la chenille à l'intérieur de l'organe fructifère empêche l'épanouissement normal de la fleur qui se vrille puisque les pétales restent soudés à leurs extrémités. Pour pouvoir continuer à se nourrir au détriment de graines en formation, une chenille doit parfois traverser une paroi inter-carpellaire en forant un trou très net ayant le même diamètre qu'elle. Si les trous dans les parois des carpelles ne sont provoqués que par le ver rose, leur observation n'est malheureusement faite qu'après l'ouverture des capsules. Ainsi, à moins d'observer des fleurs en rosette, la présence du ver rose au sein d'une culture passe souvent inaperçue car la chenille vit toujours à l'intérieur de l'organe fructifère qu'elle attaque, son trou de pénétration dans une capsule devenant rapidement indétectable car très vite obturé par la croissance des cellules de l'organe fructifère.

Il y a en général 4 stades larvaires et la durée du développement larvaire, qui peut dépendre de l'alimentation des chenilles, est d'environ 2 semaines. Cependant, la durée de la vie larvaire est parfois prolongée de quelques semaines à plusieurs mois si la chenille entre

en diapause. Cette diapause larvaire est un stade important puisqu'il permet la dissémination de l'espèce. Elle se déroule généralement à l'intérieur d'une capsule : à l'intérieur d'une graine, entre deux graines ou encore au niveau des fibres car la diapause larvaire intervient le plus souvent en fin de cycle du cotonnier. Elle se produit le plus souvent au dernier stade larvaire sous l'influence de facteurs particuliers (alimentaires, saisonniers, thermiques, hygrométriques, photopériodiques). Pour cette diapause larvaire, la chenille tisse un cocon particulier qu'elle pourra réutiliser, mais pas de manière systématique, pour sa nymphose. Les adultes femelles qui émergent, souvent à l'intérieur d'un champ de cotonniers, vont après accouplement déposer leurs œufs sur des cotonniers, sur d'autres Malvales (Malvacées ou des Tiliacées).

Thaumatotibia (= Crypophlebia) leucotreta

Voir planche couleur – photos 18.

La dernière espèce importante du complexe des chenilles de la capsule du cotonnier en Afrique est *Thaumatotibia (= Crypophlebia) leucotreta* (Meyrick), même si son premier signalement a été fait sur agrumes (orangers) en Afrique du Sud. En raison de sa grande plasticité écologique associée à une gamme très large de plantes hôtes, elle est observée dans tous les pays. Contrairement aux espèces précédentes, les chenilles de *T. leucotreta* ne s'attaquent pratiquement qu'à des capsules vertes de cotonnier possédant des caractéristiques (taille et qualités organoleptiques) favorables à leur développement, puisqu'une chenille ne quitte en général un organe attaqué que pour aller se nymphoser. Ainsi *T. leucotreta* ne provoque que très peu d'abscissions d'organes fructifères.

Presque uniquement en début de campagne, des chenilles peuvent parfois miner des tiges de cotonnier au niveau d'un nœud, mais quelquefois aussi au niveau d'un entre nœud et très rarement à partir de la cime. Les œufs translucides de forme lenticulaire (ce qui facilite leur adhérence) sont déposés au niveau de différents organes de la plante en fonction du développement du cotonnier : tiges et feuilles tant que le cotonnier n'a pas suffisamment de capsules vertes et, par la suite, surface des péricarpes, bractées ou pédoncules des capsules vertes de préférence âgées. Après une incubation de quelques jours en général (4 à 6 jours), un œuf donne naissance à une jeune chenille translucide qui, en moins de deux jours, pénètre dans une capsule verte, après avoir parfois rongé son épiderme au niveau des parties protégées par les bractées ou les sépales.



La pénétration de la chenille à l'intérieur de la capsule se fait, au niveau des zones non protégées, par un très petit trou qui peut être repéré pendant quelques temps par un tortillon mucilagineux mélangé d'excréments caractéristique de cette espèce. Minant d'abord la paroi de la capsule, les chenilles gagnent ensuite l'intérieur pour se nourrir des graines tendres en formation ainsi que de leurs soies, contrairement à *P. gossypiella* qui ne se nourrit que des graines. Le petit trou creusé par la chenille pour entrer dans la capsule favorise l'invasion de la capsule par des agents responsables de pourritures (généralement des bactéries) qui ne nuisent pas au développement de la chenille mais contribuent à la dégradation de la capsule.

Plus rarement que pour le ver rose, une chenille peut traverser la paroi intercarpellaire pour aller se nourrir des graines d'une autre loge carpellaire. Une capsule peut héberger plusieurs chenilles de cette espèce (maximum de 3 chenilles par capsule). Au cinquième stade larvaire (soit entre 2 et 3 semaines après son éclosion), la chenille, qui peut être confondue avec le ver rose (le nom de « faux ver rose » lui est parfois attribué), sort de la capsule pour aller se nymphoser, en général au niveau de la litière du sol. Très peu de nymphoses ont lieu dans le sol, dans la capsule ou même sur le plant. La nymphose dans un cocon très légèrement tissé ne dure qu'une dizaine de jours. Après accouplement, les femelles pondent sur les très nombreuses plantes hôtes (dont le cotonnier) que connaît cette espèce.

▀ Le complexe des insectes piqueurs suceurs

Le cortège d'insectes piqueurs suceurs vient immédiatement après celui des chenilles de la capsule, en termes d'importance économique. En effet, il comprend de nombreuses espèces qui peuvent affecter sévèrement le potentiel et la qualité de la production de manière directe ou indirecte : affaiblissement de la vigueur des plants, abscissions d'organes fructifères, transmission de maladies, développement d'agents responsables de pourritures détruisant le contenu des capsules et dépôts de miellats sur la fibre.

Les cicadelles

Voir planche couleur – photo 19.

Les cicadelles (ou jassides) occupent toujours une place importante. De nombreuses espèces de cicadelles ont été identifiées sur cotonnier en Afrique mais les plus fréquemment observées et les plus nuisibles sont : *Austroasca* (= *Jacobiasca*) *lybica* (Bergevin et Zanon) et *Jacobiella*

(= *Empoasca fascialis* (Jacobi)). Leurs œufs sont invisibles de l'extérieur parce qu'ils sont insérés dans de jeunes tiges ou pétioles (ce qui leur procure une bonne protection) mais principalement dans les nervures des feuilles et jamais dans leurs limbes. C'est en empêchant l'insertion des œufs que la pilosité confère une résistance à ces ravageurs. La durée d'incubation des œufs, très variable, est en moyenne de l'ordre d'une semaine. L'ensemble des cinq stades larvaires (appelés aussi stades nymphaux) qui suivent dure à peu près autant de temps.

Ainsi, une dizaine (ou plus) de générations par an peuvent se succéder grâce à une gamme très large d'hôtes cultivés, sauvages ou adventices (principalement des Malvacées, des Légumineuses et des Solanacées). La durée de vie de l'adulte peut atteindre 2 mois. Les larves non ailées ou nymphes comme les adultes ailés ressemblent à de petites cigales de couleur verte qui vivent essentiellement sur la face inférieure des feuilles. Les adultes s'y nourrissent en piquant avec leurs stylets les nervures secondaires dans lesquelles ils injectent une salive toxique parallèlement à leur prise de nourriture. Ils provoquent alors un jaunissement des bords des feuilles et leur enroulement vers le bas. Ces dégâts s'accompagnent d'une réduction de la photosynthèse qui diminue la croissance de la plante et la rétention des organes fructifères, donc accroît les abscissions.

Enfin une cicadelle, *Orosius cellulosus* (Lindenberg), mérite une attention particulière car elle est vectrice de l'agent responsable d'une maladie appelée virescence du cotonnier (transformation des organes floraux en organes foliacés avec un verdissement de la corolle et des étamines) qui rend stériles les plants qui en sont atteints. Les plants prennent alors un aspect buissonnant (port dit « en balai ») caractéristique des maladies à mycoplasmes.

Les pucerons

Voir planche couleur – photo 20.

Le puceron *Aphis gossypii* (Glover), longtemps considéré comme un ravageur secondaire du cotonnier en Afrique, peut aussi affecter significativement le rendement et la qualité de la production. De petite taille (< 2 mm) et de couleur très variable (du jaune au noir en passant par diverses colorations vertes) et de formes très diverses (adultes aptères, adultes ailés, larves aptères et larves proto-ailées), les pucerons d'*A. gossypii* possèdent deux cornicules noires par lesquelles ils sécrètent des sucres. Les dégâts trophiques sont provoqués par ce ravageur à la suite de ses piqûres d'essai, mais surtout lors de prises alimentaires au niveau du phloème.



La reproduction d'*A. gossypii* est caractérisée par une parthénogénèse thélytoque (descendance uniquement femelle) associée à une fécondité élevée (de l'ordre de 100 descendants par femelle) et à une durée de développement larvaire très courte (de l'ordre d'une semaine). La colonisation d'un cotonnier, qui peut être très précoce, au stade plantule, se fait par des ailés. Même si ces ailés se posent d'abord sur la face supérieure des feuilles, ils migrent très vite vers la face inférieure où ils trouvent de meilleures conditions pour leur développement et celui de leur descendance. Les larves aptères engendrées colonisent progressivement la totalité des plants, en migrant surtout verticalement mais en changeant aussi parfois de plant. Les pucerons sont alors répartis sur les feuilles à la périphérie et au sommet du plant, mais, lorsque les infestations sont fortes, il est fréquent d'en observer sur les tiges, les pétioles et les pédoncules.

Cette première vague d'infestation peut alors entraîner des déformations du limbe des feuilles (gaufrage ou crispation entre les nervures) lorsque les colonies sont denses. Ces dégâts ralentissent le développement végétatif et fructifère des plants et conduisent à des pertes de production plus ou moins importantes en fonction de divers facteurs : la période, la durée et l'intensité des attaques, la longueur de la saison des pluies, etc. Cette incidence des pucerons sur la production peut parfois être aggravée par les dépôts de miellats (sucres secrétés par les cornicules) sur le limbe des feuilles qui, en facilitant le développement de fumagine (champignons noirs saprophytes du genre *Capnodium*), réduisent alors l'activité photosynthétique. Quelques individus aptères peuvent néanmoins se maintenir sur des feuilles en bas des plants de cotonnier, et être à l'origine d'un redémarrage des infestations en fin de campagne.

Ces dernières infestations affectent alors négativement la qualité de la production en souillant la fibre des capsules ouvertes par les déjections sucrées sur lesquelles se développe la fumagine. La présence de sucres, appelés miellats, au niveau de la fibre rend difficile certaines opérations de la filature (ralentissement des opérations, casses de fils, etc.) et entraîne une décote lors de sa mise sur le marché. Il en est de même avec la présence de fumagine qui affecte les caractéristiques colorimétriques de la fibre. Enfin, le puceron *A. gossypii* est aussi le vecteur du virus de la maladie bleue. Cette maladie, qui sévit principalement en Afrique centrale, est accompagnée d'un épaississement d'un limbe des feuilles devenues plus foncées et cassantes avec des bords enroulés vers le bas (le nom de *leaf roll* lui est donné par les anglo-saxons). Elle provoque un

rabougrissement des plants par un raccourcissement des entre-nœuds, donnant ainsi un aspect buissonnant aux plants atteints. Elle entraîne des pertes de production par une diminution de la production d'organes fructifères, par la chute de capsules venues à maturité ou, lorsque les plants en sont très atteints, par leur stérilité totale. Ces pertes de production sont d'autant plus importantes que l'infection est précoce.

Les aleurodes

Voir planche couleur – photo 21.

Trois espèces d'aleurodes ont été recensées en culture cotonnière en Afrique : *Bemisia tabaci* (Gennadius), *B. afer* (Piesner et Hosney) et *Trialeurodes ricini* (Misra). La première espèce, présentant au moins deux biotypes en zone cotonnière africaine (Q1 et A-SL) est de loin la plus fréquente. Les aleurodes peuvent infliger aux cotonniers les mêmes types de nuisances que les pucerons : des dégâts trophiques à la suite de piqûres par les adultes et les larves, des maladies transmises lors de piqûres (mosaïque et *leaf curl*) et une pollution de la fibre par des sécrétions sucrées.

Les adultes et les larves d'aleurodes insèrent leurs stylets dans les espaces intercellulaires du limbe des feuilles pour atteindre le phloème afin d'y prélever leur nourriture. Autour des points de piqûre, des taches décolorées (jaunissement) peuvent alors apparaître et s'étendre à d'autres parties du limbe. Le *leaf curl*, qui est surtout préjudiciable à l'espèce *G. barbadense*, se caractérise par des épaissements (parfois accompagnés d'excroissances) des nervures de feuilles qui peuvent se gaufrer et s'enrouler vers le bas, mais, il n'entraîne la stérilité des plants qu'en cas de transmission précoce.

La mosaïque, autre maladie virale transmise par *B. tabaci*, affecte plus spécifiquement l'espèce *G. hirsutum* en faisant apparaître des zones décolorées (ou jaunes) au niveau du limbe des feuilles.

Les adultes de *B. tabaci*, d'environ 1 mm de long, sont recouverts d'une substance cireuse blanche à l'origine de leur appellation de « mouches blanches ». Ils se déplacent de manière active sur de courtes distances après avoir migré des feuilles basses vers le sommet des plants et de manière passive, entraînés par les vents, sur des distances plus longues allant d'une centaine de mètres à quelques kilomètres. La fécondité peut atteindre 350 œufs par femelle. Les œufs sont déposés souvent groupés de façon circulaire en raison de la rotation des femelles autour de leurs stylets plantés dans le végétal pendant la ponte. La durée d'incubation de l'œuf, dépendante de la température, n'est jamais



inférieure à 5 jours. Seul le premier stade larvaire est mobile. Ensuite, avec la régression des pattes (simultanément à celle des antennes), les deux stades larvaires suivants (qui sont les stades les plus courts) et la pupa sont fixés à la plante hôte. À l'intérieur du *puparium*, une métamorphose complète intervient. *B. tabaci* est holométabole puisque les stades larvaires sont morphologiquement complètement différents de l'adulte. Un adulte en émerge par une fente en T mais, comme il existe une parthénogénèse arrhénotoque chez *B. tabaci* (contrairement à celle d'*A. gossypii*), la descendance peut être uniquement mâle. La durée du cycle, de l'œuf à l'émergence de l'adulte, est de l'ordre de 3 semaines. Grâce à une très large gamme de plantes hôtes (plus de 500 espèces réparties en 74 familles), ce ravageur peut développer entre 10 et 15 générations par an. Sur cotonnier, les infestations peuvent être favorisées par l'alimentation azotée, les stress hydriques et les déficiences d'alimentation en potassium des plants, la coloration du feuillage pouvant jouer un rôle dans l'attraction du ravageur.

Autres insectes piqueurs suceurs

Beaucoup d'autres insectes piqueurs suceurs sont présents en culture cotonnière en Afrique. S'ils sont aujourd'hui considérés comme secondaires, leur statut pourrait changer à la suite de modifications de leur environnement abiotique et/ou biotique.

De nombreuses espèces de mirides (hétéroptères de taille < 1,2 cm) existent en culture cotonnière en Afrique, mais peu sont réellement nuisibles (voir planche couleur – photo 22). Ces espèces sont surtout inféodées aux zones humides de production, en raison d'exigences biologiques spécifiques, mais également en raison d'une grande diversité de plantes hôtes permettant l'accomplissement de leur cycle à tout moment de l'année (il n'y a pas de stade d'hibernation).

Les dégâts provoqués sont souvent caractéristiques de chaque espèce : déformation de feuilles (feuilles dite « en griffe ») provoquée par les piqûres d'*Helopelthis schoutedeni* Reuter sur les nervures (voir planche couleur – photos 23), déchirure de limbe (*H. schoutedeni*), feuilles en lambeaux (*Taylorilygus vosseleri* Poppius ou *Campylomma* spp.), nécroses sur les tiges, rameaux, pétioles ou pédoncules (*H. schoutedeni*), chute de boutons floraux (*T. vosseleri* Poppius ou *Campylomma* spp. lorsqu'ils sont très jeunes et *Creontiades pallidus* Rambur lorsqu'ils sont plus âgés), chute de jeunes capsules (*Megacoelum* apicales Reuter et *C. pallidus*), destruction de bourgeons terminaux de branches (*T. vosseleri* ou *Campylomma* spp.) et piqûres sur capsule évoluant en chancres (*H. schoutedeni*).

Ces dégâts peuvent affaiblir les plants, avec pour conséquence une réduction de leur production liée à une diminution de la floraison aggravée par une augmentation des abscissions d'organes fructifères et l'arrêt de la croissance des branches fructifères. Ils peuvent aussi affecter la qualité de la production par un retard dans l'élaboration de la production, l'ouverture prématurée de capsules, et le développement d'agents responsables de pourritures.

D'autres punaises, de taille souvent plus importante que celle des mirides, peuvent également occasionner des dégâts sur les cotonniers. En Afrique, ces punaises appartiennent principalement à 4 familles : Coreidae, Lygaeidae, Pentatomidae et Pyrrhocoridae. Au sein de chaque famille, les espèces sont nombreuses (tableau 5.1) mais beaucoup ne sont que des ravageurs occasionnels du cotonnier.

Tableau 5.1. Quelques hétéroptères déprédateurs présents en culture cotonnière en Afrique de l'Ouest et du Centre.

Coreidae	Lygaeidae	Pentatomidae	Pyrrhocoridae
9 espèces dont :	19 espèces dont :	36 espèces dont :	16 espèces dont :
<i>Anoplocnemis curvipes</i> F.	<i>Oxycarenus hyalinipennis</i> C.	<i>Acrosternum acutum</i> D.	<i>Dysdercus voelkeri</i> S.
<i>Cletus ochraceus</i> H.-S.	<i>Graphostethus servus</i> F.	<i>Aspavia armigera</i> F.	<i>Dysdercus fasciatus</i> S.
<i>Leptoglossus australis</i> F.		<i>Nezara viridula viridula</i> L.	<i>Odontopus sepxunctatus</i> L.
<i>Leptocoris hexophthalma</i> T.		<i>Piezodorus pallescens</i> G.	
<i>Mirperus jaculus</i> T.		<i>Calidea dregi</i> G.	
<i>Acanthomia horrida</i> G.			

La présence de ces espèces sur cotonniers peut intervenir à un stade phénologique précis de la plante (graines en cours de maturation pour la plupart des Lygaeidae) mais aussi lorsque les conditions sont favorables (ensoleillement et hygrométrie élevés dans le cas de *Dysdercus* spp.) ou en l'absence de plante hôte alternative. Certaines espèces, comme *Nezara* spp. (voir planche couleur – photo 24a) vis-à-vis des œufs de *Spodoptera littoralis* (Boisduval) ou *Agonoscelis versicolor* (Fabricius) vis-à-vis de chenilles d'*Earias* spp, sont à la fois prédatrices et déprédatrices.

Ces punaises s'alimentent de la sève accessible au niveau de certains organes ou des tissus mis en suspension ou liquéfiés sous l'action de



la salive (parfois toxique) qu'elles injectent. La présence de plusieurs individus d'une même espèce comme *Oxycarenus hyalinipennis* Costa (voir planche couleur – photo 24b) et de *Dysdercus* spp. (voir planche couleur – photo 24c) facilite cette transformation des tissus. Les organes endommagés par ces punaises sont fonction des espèces (parfois des stades de développement) et une espèce particulière ne s'attaque en général qu'à un seul type d'organes.

Les capsules vertes sont les organes préférés. Lorsque les capsules sont très jeunes (âgées de moins de 15 jours), les piqûres de punaises provoquent leur abscission. Toutefois, ces dégâts sont assez rares car ces punaises préfèrent s'attaquer aux capsules plus âgées dès que les plants en portent. De l'extérieur, leurs piqûres sur capsule peuvent être visibles (celles de *Leptoglossus* spp. peuvent ressembler à des taches de bactériose, celles de *Piezodorus* spp. sont signalées par une pellicule blanchâtre) mais, le plus souvent, elles sont invisibles (celles de *Dysdercus* spp. en particulier).

De l'intérieur, leurs piqûres sont parfois signalées par des excroissances ou des bourgeonnements au niveau de la paroi interne de l'endocarpe si elles se produisent avant que l'âge de la capsule n'excède 25 jours (celles de *Dysdercus* spp. en particulier). Lorsque les piqûres sont très nombreuses au niveau d'une capsule, elles provoquent sa momification lorsque son âge n'excède pas 3 semaines (*Dysdercus* spp.) ou son ouverture prématurée avec une fibre de mauvaise qualité et l'apparition de «quartiers d'orange» impropres à toute utilisation (partie de la capsule, loge de la capsule, qui ne s'est pas développée comme les autres et dont les grains et les fibres sont inutilisables). Les piqûres de ces punaises sont préjudiciables parce qu'elles sont à l'origine de l'introduction passive, mais aussi parfois active (cas de *Dysdercus* spp. pour *Nematospora* spp. et de *Nezara* spp. pour *Rhizopus nigricans* Ehrenberg), d'agents microbiens à l'origine de la pourriture des capsules. Par ailleurs, en fonction de la taille des stylets, qui dépend à la fois de l'espèce (cas de *Leptoglossus* spp.) et du stade développement d'une espèce (cas de *Dysdercus* spp. à partir du quatrième stade larvaire), les graines en formation dans ces capsules peuvent être atteintes. Leur pouvoir germinatif est alors réduit et les fibres qu'elles portent sont dépréciées. Les graines des capsules déhiscentes sont en revanche plus facilement accessibles aux punaises de petite taille (*O. hyalinipennis*) et aux jeunes stades larvaires de certaines punaises (larves du deuxième et du troisième stade de *Dysdercus* spp., les larves du premier stade ne se nourrissant pas) qui en réduisent le pouvoir germinatif.

Enfin, quelques espèces comme *Anoplocnemis curvipes* (Fabricius) (voir planche couleur – photo 24d), qui délaissent les capsules, piquent alors des organes végétatifs (extrémités de tiges, ébauches foliaires, etc.), entraînant un flétrissement, un dépérissement ou une nécrose des parties au-delà des points d'attaque.

▮ Les chenilles phyllophages

Quelques espèces apparaissent de manière très occasionnelle dans des parcelles de cotonniers : *Acrocercops difasciata* (Walsingham), dont les chenilles rougeâtres minent l'épiderme des feuilles juste sous la cuticule, *Xanthodes graellsii* (Feisthamel), dont les chenilles vert foncé portent des marques en «U» noires caractéristiques (voir planche couleur – photo 25a), ou encore *Amsacta moloneyi* (Druce), dont les chenilles sont très pileuses. Trois autres espèces de ce complexe sont par contre plus fréquemment observées en culture cotonnière : *Haritalodes derogata* (Fabricius), *Anomis flava* (Fabricius) et *S. littoralis*.

Les adultes de l'espèce *H. derogata*, qui n'est pourtant pas une noctuelle, ne sont actifs que pendant la nuit. Les femelles, attirées par des plants ayant atteint leur développement maximal et possédant des feuilles encore jeunes et tendres, déposent leurs œufs sur ces organes de manière isolée le long des nervures, sur la face inférieure selon certains auteurs, ou de manière groupée sur la face supérieure selon d'autres auteurs. L'incubation des œufs dans les conditions tropicales est de l'ordre de 3 jours. Les jeunes chenilles qui en sont issues se regroupent à la base des feuilles où, légèrement protégées par un réseau de fils tendus entre les poils de la feuille, elles rongent l'épiderme avant de découper et d'enrouler le limbe avec des fils de soie pour former un cornet vert très caractéristique des dégâts de ce ravageur (voir planche couleur – photo 25b).

Le nom d'«enrouleuse des feuilles de cotonnier» a d'ailleurs été donné à cette espèce par les anglo-saxons (voir planche couleur – photo 25c). À partir du quatrième stade larvaire, les chenilles se dispersent pour provoquer le même type de dégât sur d'autres feuilles. Les feuilles enroulées sont, de manière progressive, consommées en totalité, seules les nervures restant intactes. À l'échelle d'un plant, ces dégâts peuvent entraîner 60 % de perte de production en fonction de la période à laquelle ils se produisent et du nombre de feuilles atteintes. À l'échelle d'une parcelle où sa présence est souvent liée à des défaillances dans



la protection phytosanitaire, l'incidence de ce ravageur est en général beaucoup plus faible car les infestations sont souvent très localisées.

Les femelles de la noctuelle *A. flava* pondent sur des feuilles déjà bien développées, de préférence sur la face inférieure et de manière isolée (avec un maximum de 3 œufs par feuille). L'incubation des œufs dure au plus deux jours. Après avoir ingéré leur chorion, les chenilles d'*A. flava* (voir planche couleur – photo 26a) se déplacent en arpentant les feuilles à la manière des Géométridés, grâce à de fausses pattes abdominales (de 2 à 4 paires selon les stades larvaires). Cette similitude leur a valu le nom de chenilles « semi-arpenteuses ». Ces chenilles sont de coloration verte, sauf au début des deux premiers stades larvaires pendant lesquels elles sont jaune pâle. Elles restent toujours à l'abri, sous une feuille dans la partie basse du cotonnier lorsqu'elles sont jeunes et dans la partie haute lorsqu'elles sont âgées. Au cours des deux premiers stades larvaires, les chenilles se nourrissent de l'épiderme et du mésophylle de la face inférieure des feuilles, qui semblent alors transparentes aux endroits attaqués. À partir du troisième stade larvaire, les chenilles dévorent en totalité le limbe des feuilles en laissant des trous qui s'élargissent au fur et à mesure que la feuille grandit.

Les chenilles de l'espèce *S. littoralis*, détériorent principalement le feuillage mais parfois aussi les organes fructifères des cotonniers (voir planche couleur – photo 26b). Toutefois, ses dommages les plus fréquemment visibles en Afrique concernent les feuilles. La biologie et l'éthologie de cette espèce sont très voisines de celles d'*A. flava*.

Des différences existent cependant, les principales étant :

- des pontes extrêmement groupées puisque les œufs sont déposés en plusieurs couches et collés les uns aux autres, l'ensemble étant recouvert de poils abdominaux en provenance de la femelle ;
- une incubation légèrement plus longue (3 à 4 jours) ;
- des feuilles transformées en une véritable dentelle par les jeunes et nombreuses chenilles, plus de 100 issues de la même plaque d'œufs (voir planche couleur – photo 26c) ;
- une dispersion des chenilles seulement à partir du quatrième stade larvaire ;
- des perforations du limbe en général plus petites ;
- des organes fructifères, en particulier les capsules, plus fréquemment attaqués par cette espèce ;
- une nymphose dans le sol près de sa surface ;
- une gamme plus large de plantes hôtes, beaucoup étant des plantes cultivées.

▮ Les Coléoptères

Presque aussi nombreuses que les punaises, les espèces de Coléoptères constituent rarement une nuisance sévère pour la culture cotonnière en Afrique. En effet, beaucoup ne sont pas déprédatrices, et celles qui le sont ont souvent plusieurs plantes hôtes, le cotonnier n'étant alors qu'un hôte occasionnel.

Les graines en terre peuvent être détruites par des larves de Tenebrionidae (*Tenebrio guineensis* Imhoff). Les jeunes racines, plus sensibles à l'action de bactéries ou de champignons, peuvent être rongées par des larves de scarabées (*Schizonycha africana* Laporte de Castelnau), de Tenebrionidae (*Gonocephalum simplex* Fabricius) ou de Chrysomelidae (*Syagrus calcaratus* Fabricius, parfois au-delà du stade levée). Lorsqu'elles sont jeunes, les tiges peuvent être sectionnées (*Anomoederus* spp., *G. simplex*) ou perforées au niveau du collet (*Piezotrachelus varius* Wagner) et, lorsqu'elles se lignifient, elles peuvent être minées (*P. varius*, *Sphenoptera khartoumensis* Obenberger), rongées en superficie (*G. simplex*) ou creusées plus ou moins superficiellement de galeries. Les bourgeons, qu'ils soient floraux ou non, les fleurs et les capsules, sont également attaqués par des coléoptères mais les dégâts provoqués sont souvent négligeables. Les Meloidae adultes des genres *Coryna* et *Mylabris* se nourrissent plutôt des pièces florales et les cétoines adultes des genres *Diplognatha* et *Pachnoda* s'alimentent surtout au niveau de capsules qu'ils détruisent. Les dégâts de coléoptères le plus fréquemment signalés sur cotonnier concernent les feuilles (en y incluant les cotylédons). Des chrysomèles (voir planche couleur – photo 27a) et des Curculionidae en sont le plus souvent responsables. Si certaines espèces, comme *S. calcaratus* (voir planche couleur – photo 27b) ou *Nisotra* spp. perforent le limbe (trous plus ou moins circulaires (voir planche couleur – photo 27c), d'autres comme *Isaniris decorsei* Marshall rongent les limbes par leurs bords. Ces attaques, qui peuvent faire disparaître des parties entières de limbe (en préservant très souvent les nervures), n'ont une incidence que sur les variétés sans glande à gossypol si elles interviennent très tôt au cours du cycle du cotonnier (avant l'apparition de la quatrième feuille).

▮ Les acariens

Quelques tétranyques (*Tetranychus urticae* Koch, *Oligonychus gossypii* Zacher et *T. neocaledonicus* André) ont été signalés en culture cotonnière en Afrique de l'Ouest et du Centre, mais le tarsonème



Polyphagotarsonemus latus (Banks) est l'acaréen le plus préoccupant (voir planche couleur – photo 28a et b). Il est surtout inféodé aux zones de production les plus humides mais il n'est pas rare de l'observer dans d'autres zones de production. Ce ravageur vit sur la face inférieure des feuilles dont il perce l'épiderme pour absorber le contenu des cellules. La croissance de l'épiderme inférieur est alors arrêtée mais celle de l'épiderme supérieur continue, provoquant ainsi un enroulement vers le bas des bords du limbe.

Lorsque la feuille vieillit, des déchirures du limbe (dites en « coups de couteau ») peuvent également apparaître avec le même enroulement des bords de ces blessures vers le bas (voir planche couleur – photo 28b). Un aspect glacé des faces inférieures des limbes est souvent observé au début des attaques et la différence de coloration entre les deux faces d'un limbe, qui toutes deux foncent, est toujours très caractéristique des attaques de ce ravageur. Ces dégâts entraînent un raccourcissement des entre-nœuds et une réduction du poids des capsules.

▮ Autres ravageurs mineurs

Quelques ravageurs secondaires méritent encore d'être signalés. On retient en particulier les iules, ou myriapodes (voir planche couleur – photo 28c), qui détruisent les graines dans le sol, les larves du diptère *Liriomyza sativae* (Blanchard) qui minent les cotylédons et les feuilles, et les thrips de l'espèce *Caliothrips impurus* (Priesner) dont les attaques donnent aux feuilles un aspect plombé ou argenté parsemé de nodules noirs (excréments de l'insecte).

Les maladies du cotonnier

Aux maladies transmises par vecteurs évoquées précédemment (maladie bleue, *leaf curl*, mosaïque, et virescence florale), s'ajoutent la psyllose (transmise par *Paurocephala gossypii* Russel) et la maladie de Parakou (transmise par des cochenilles souterraines, *Margarodes* spp.). Principalement signalées en République centrafricaine, elles se manifestent par des réductions de la taille des feuilles qui prennent une couleur violacée en se crispant au niveau des nervures (psyllose) ou jaunissent avec des pétioles rougeâtres (maladie de Parakou). Malgré un arrêt de la production de boutons floraux (psyllose) et un rabougrissement des plants (maladie de Parakou) elles n'ont en général pas de grande incidence.

Si la plupart des pourritures de capsule résultent du développement de germes introduits directement ou indirectement par des ravageurs, certaines s'observent à la suite d'attaques directes par certains germes. Ainsi, l'antracnose provoquée par *Colletotrichum gossypii* (Southworth) conduit à un noircissement et à une momification des capsules et la bactériose (*Xanthomonas malvacearum* Smith-Dowson) participe à la dégradation des capsules tout en créant des portes d'entrée à d'autres germes.

Parmi les autres maladies non transmises par des ravageurs et apparaissant en cours de végétation, il faut citer en premier les fontes de semis provoquées par différents agents pathogènes (*Rhizoctonia solani* Kühn, *Pythium* spp., *C. gossypii*, *Phytophthora parasitica* Dastur, etc.) qui s'attaquent à la tigelle et détruisent entièrement les plantules. Des flétrissements de plants peuvent ensuite se produire, soit brutalement à la suite d'attaques des racines par *Macrophomina phaseoli* (Maublanc) Ashby, soit progressivement à la suite d'une obstruction des vaisseaux véhiculant la sève par *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* (Snyder-Hansen) provoquant la fusariose ou *Verticillium albo-atrum* (Reinke-Berthold) provoquant la verticilliose. La fusariose et la verticilliose, qui s'accompagnent de décolorations des feuilles plus marquées qu'avec *M. phaseoli*, sont favorisées par les excès d'azote dans le sol ou d'humidité (elles sont d'ailleurs plus fréquentes dans les zones humides). La contamination des sols par les agents pathogènes de ces deux maladies vasculaires, qui peut être naturelle et/ou favorisée par l'emploi de graines infectées, peut persister longtemps. En cours de campagne, on peut observer des taches arrondies cerclées de brun sur les feuilles, résultant d'infections par *Alternaria* spp. ou *Cercospora* spp. et en fin de campagne, des taches angulaires avec des efflorescences blanches sur la face inférieure, provenant d'infections par *Ramularia areola* (Atkinson).

À côté de toutes ces infections, souvent localisées et/ou sans grande incidence au niveau d'une parcelle, la maladie du cotonnier la plus répandue en Afrique demeure la bactériose (*Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum*). Elle se manifeste principalement par des taches anguleuses sur le limbe des feuilles et/ou des traînées qui suivent les nervures (entraînant des crispations). Petites au début de l'infection, les taches peuvent ensuite grandir et même se rejoindre pour former de taches plus grandes (des macules) qui restent anguleuses. À l'aspect huileux du début de l'infection succède un brunissement et un noircissement des taches anguleuses et des traînées, suivi d'un



dessèchement. Dans le cas d'attaques très sévères, les feuilles chutent. À partir des traînées le long des nervures des feuilles, la bactériose peut gagner les rameaux et la tige et y produire des chancres résultant de l'évolution de plages allongées huileuses. Si ce dernier symptôme est rarement observé, les taches circulaires sur les capsules sont un peu plus fréquentes. Dans leur coloration elles connaissent la même évolution que celle des taches anguleuses du limbe mais, lorsqu'elles deviennent noires, leur centre se creuse avant de se crevasser, offrant ainsi une porte d'entrée aux germes responsables de pourritures de capsule.

La protection du cotonnier contre ses ravageurs

En Afrique au sud du Sahara, les principaux ravageurs du cotonnier sont des Lépidoptères (chenilles de la capsule, chenilles enrouleuses de feuilles), des insectes piqueurs suceurs (pucerons, jassides et aleurodes), et, dans certaines zones de production, des acariens (tarsonèmes). En raison de leur incidence sur la production, en quantité comme en qualité, les populations de ces ravageurs doivent rester sous surveillance.

Tous les producteurs de coton en Afrique subsaharienne sont engagés à des degrés divers dans des démarches de protection intégrée (figure 5.4) de la culture pour réguler les populations de ravageurs et/ou limiter leur incidence. Pour cela, ils font appel à différentes méthodes de lutte, même si, pour la majorité d'entre eux, le recours à l'utilisation d'insecticides chimiques reste très important par rapport aux méthodes dites « alternatives ».

En Afrique subsaharienne, les méthodes alternatives concernent principalement le contrôle génétique, avec l'utilisation de caractères variétaux de résistance ou de tolérance aux ravageurs, la mise en œuvre de pratiques de contrôle cultural, et la pulvérisation de biopesticides dans le cadre de la lutte biologique.

▮ Contrôle génétique

La pilosité foliaire des cultivars : processus d'antixénose

En dehors du choix d'un emplacement propice à la culture cotonnière (pour mettre le cotonnier dans de bonnes conditions de croissance et de fructification) et de l'utilisation de semences saines (pour limiter en particulier la propagation de maladies et de ravageurs comme *P. gossypiella*), la mesure de contrôle la plus efficace, rendue possible

par les récoltes manuelles pratiquées en Afrique, est l'utilisation de cultivars à feuilles pileuses pour lutter contre les jassides. Pour ces ravageurs, la pilosité des feuilles constitue une barrière physique à leur prise de nourriture et surtout à leur oviposition (pontes). Pourtant, si toutes les variétés résistantes aux jassides ont des feuilles pileuses (planche couleur, photo 29), toutes les variétés à feuilles pileuses ne sont pas résistantes aux jassides.

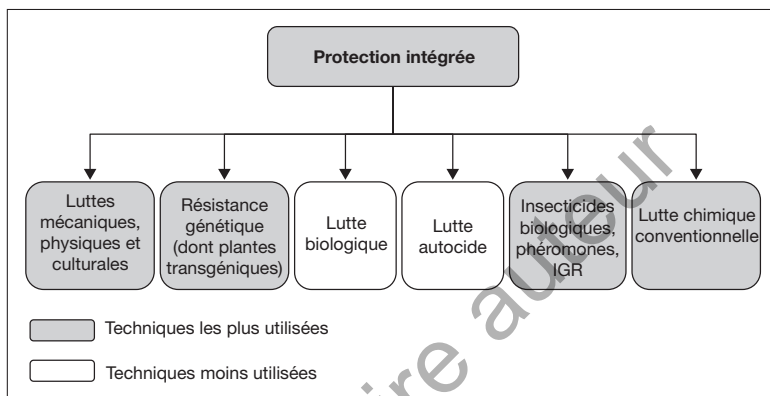


Figure 5.4. Composantes de la protection intégrée du cotonnier contre ses ravageurs. (© Cirad)

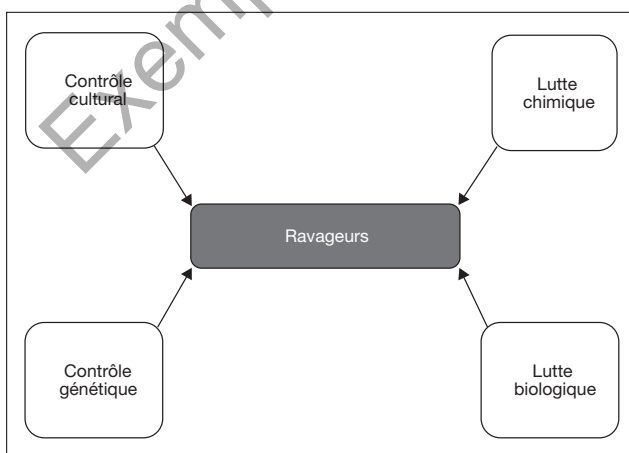


Figure 5.5. Les différentes méthodes de lutte contre les ravageurs (© Cirad)



En effet, l'efficacité de la pilosité foliaire vis-à-vis de ces ravageurs dépend principalement de la position des poils par rapport à la surface du limbe, de leur longueur et de leur densité (figure 5.6). Différentes combinaisons de ces caractéristiques de pilosité foliaire peuvent procurer un même niveau de résistance à ces ravageurs, même si beaucoup d'auteurs estiment que la longueur des poils joue un rôle prépondérant.

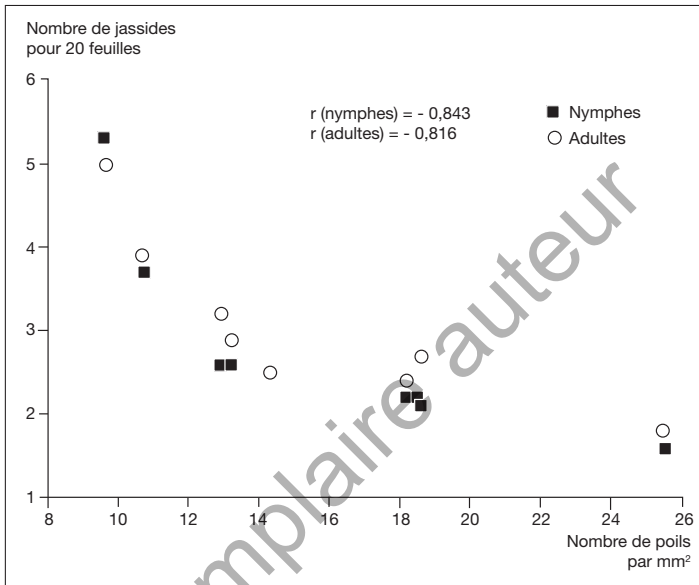


Figure 5.6. Relation entre densité de poils sur les nervures des feuilles et les populations de jassides (étude conduite au Mali en 2000).

Par ailleurs, pour un même cultivar, ces caractéristiques varient en fonction de la saison de culture (les variétés apparaissent plus densément pileuses en saison sèche), du cycle du cotonnier (les caractéristiques définitives de la pilosité foliaire d'un cultivar ne sont pas acquises avant la dixième feuille), de l'âge de la feuille (la densité de poils diminue lorsque la feuille vieillit), de la position sur la feuille (les feuilles sont plus densément pileuses à leur base) et, probablement, des conditions de culture. Ces variations dans les caractéristiques de la pilosité foliaire peuvent avoir des répercussions plus ou moins fortes sur le niveau de contrôle des populations de jassides et/ou la sévérité de leurs dégâts. L'efficacité de ce caractère variétal est en général suffisante pour éviter de recourir à des traitements insecticides dirigés contre les jassides.

Les cotons Bt (antibiose)

Les aspects relevant des propriétés et de l'utilisation en Afrique au sud du Sahara de cotonniers génétiquement modifiés, résistants aux insectes par la production de toxines de *Bacillus thuringiensis* (Beliner), sont repris au chapitre 6.

Contrôle cultural

Les stratégies d'évitement

Les stratégies d'évitement consistent à désynchroniser la période critique de l'élaboration de la production d'une culture (ici la production d'organes fructifères) avec le pic probable de ravageurs. Jusqu'au début du xx^e siècle en Afrique, on recommandait de semer le coton à la fin de la saison des pluies (fin septembre début octobre) pour obtenir une production de qualité car non souillée par les pluies et les attaques de certains ravageurs comme *D. watersi*. Depuis l'apparition des insecticides chimiques, la stratégie d'évitement la plus souvent mise en œuvre est la réalisation de semis précoces pour éviter les fortes infestations en chenilles de la capsule en fin de campagne (figure 5.7).

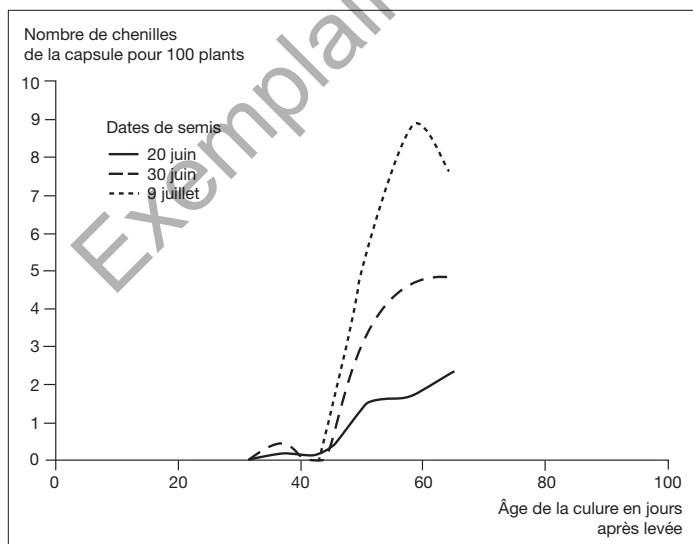


Figure 5.7.

Populations de chenilles de la capsule en début de cycle du cotonnier en fonction de la date de semis de la culture (résultats obtenus au Mali en 2007).



Cependant, dans certaines zones de production du Bénin où sévit *C. leucotreta*, avant l'apparition des pyréthriinoïdes, on retardait encore le semis des cotonniers en implantant une autre culture (en général le maïs) avant celle de cotonniers. La culture d'une variété précoce et/ou la pratique d'une forte densité de semis (voir planche couleur) participent de la même stratégie d'évitement des fortes infestations de chenilles de la capsule en fin de campagne. Toutefois, la mise en œuvre de fortes densités de plantation se heurte à l'absence d'équipements adaptés (joug, semoir, etc.) et à beaucoup de réticences de la part des producteurs plus sensibles à la production à l'échelle d'un plant (favorisée par les faibles densités de plantation) qu'à la production par unité de surface (favorisée par de fortes densités de plantation).

Les associations de culture

En Afrique subsaharienne, le cotonnier est presque toujours cultivé seul au sein d'une parcelle (souvent plantée de quelques arbres dont les productions sont valorisées). On trouve parfois des plants de gombo (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) dans les parcelles cultivées le plus souvent en biologique. Ces plants de gombo détournent du cotonnier certains ravageurs, en particulier *H. armigera*, *Earias* spp. et les jassides, mais l'efficacité de ces dispositifs reste faible, en partie parce que les plants de gombo ne sont jamais assez nombreux au sein d'une parcelle. Dans certaines régions (Fana au Mali), des producteurs cultivent le cotonnier entre des rangs de sorgho qui jouent alors un rôle de barrière physique à la colonisation des plants de cotonniers par des ravageurs, essentiellement des insectes piqueurs suceurs. Dans d'autres régions, la culture du cotonnier, en relais d'une culture de maïs, lui procure une bonne protection vis-à-vis des ravageurs jusqu'à la récolte et à l'arrachage (ou à la coupe) des plants de maïs. Dans d'autres zones de production, en particulier en Asie du Sud-Est, le cotonnier est fréquemment associé à une autre plante cultivée (maïs, haricot mungo, etc.).

Les autres pratiques culturales

Si le labour peut détruire directement certains ravageurs, il agit surtout de manière indirecte en ramenant à la surface du sol des ravageurs à certains stades de leur développement, les exposant ainsi à des facteurs adverses d'origine biotique (principalement des prédateurs) ou abiotique (température élevée en particulier). L'arrachage des repousses de cotonniers est une pratique efficace, car ces repousses

servent à la multiplication de certains ravageurs (en particulier les jassides, les pucerons, etc.) qui colonisent les nouvelles cultures. La destruction des résidus de récolte est efficace vis-à-vis de ravageurs à faible pouvoir de dispersion, dans la mesure où leurs plantes hôtes alternatives disparaissent pendant l'intersaison. En revanche, le brûlage des cotonniers coupés en fin de campagne, également très pratiqué en Afrique, n'est pas très efficace car il ne concerne que les tiges alors que les ravageurs s'abritent le plus souvent dans des débris végétaux (feuilles et organes fructifères en particulier) tombés au sol. La destruction des adventices ne peut pas être pleinement considérée comme une mesure de contrôle car les adventices peuvent servir de refuge à la fois aux ravageurs et aux auxiliaires. Si certaines études ont montré un enrichissement et une augmentation de la faune auxiliaire, en liaison avec une augmentation de la flore adventice, la destruction de cette flore se justifie pour limiter la concurrence avec les plants de cotonnier pour l'eau et les éléments minéraux.

Peu d'interventions culturales concernent l'élimination ou la réduction des supports nécessaires au développement de ravageurs car ces supports sont, soit des organes productifs, soit des organes contribuant à cette production (photosynthèse). On peut toutefois citer :

- la suppression des bouquets terminaux en fin de cycle (écimage tardif), qui limite les pullulations de pucerons et d'aleurodes. La pénibilité de cette technique freine son adoption par les producteurs ;
- la défoliation chimique en fin de cycle (la photosynthèse des feuilles n'étant plus très utile), qui limite également les pullulations de pucerons et d'aleurodes. Son efficacité est toutefois réduite par les techniques d'application disponibles ;
- un semis précoce ou le choix de variétés précoces, qui peuvent diminuer en fin de campagne l'offre en organes fructifères possédant des caractéristiques favorables au développement complet du ver rose (*P. gossypiella*) et réduire ainsi les populations entrant en diapause.

Enfin, il est parfois possible de réduire les nuisances provoquées par certains ravageurs sans chercher à maîtriser leurs populations. Il en est ainsi des récoltes précoces de coton-graine qui soustraient la fibre des capsules ouvertes à une pollution par des sucres secrétés par les pucerons et les aleurodes (miellat) en fin de campagne. Cette mesure, qui est probablement la plus efficace, et surtout la moins coûteuse pour limiter le collage de la fibre dû au miellat d'insecte, n'est malheureusement pas toujours pratiquée dans les zones de production à risque.



▮ La lutte biologique

En Afrique subsaharienne, il n'y a pas eu jusqu'à présent de lâchers inondatifs, à grande échelle, d'auxiliaires entomophages pour limiter les populations de ravageurs du cotonnier. De même, aucune mesure n'est actuellement mise en œuvre par les producteurs africains pour favoriser le développement de la faune auxiliaire entomophage indigène, pourtant riche en espèces, (encadré 5.1), afin d'augmenter son impact sur les populations de certains ravageurs.

Le constat est presque identique pour l'emploi d'agents entomopathogènes, à l'exception toutefois du rôle non négligeable joué naturellement par des champignons (des entomophthorales) en cours de saison des pluies (en août en général) dans la limitation des populations de pucerons. En effet, malgré des résultats prometteurs en recherche (encadré 5.2), les méthodes de lutte biologique reposant sur l'emploi de baculovirus (agents entomopathogènes les plus étudiés sur cotonniers en Afrique) n'ont pas connu une diffusion significative en milieu producteur en raison de difficultés techniques et/ou de coûts élevés de mise en œuvre ; seuls quelques producteurs de coton biologique y ont recours actuellement (encadré 5.2).

Pour diverses raisons (innocuité vis-à-vis des humains très discutée, candidats potentiels peu nombreux, difficultés de production, etc.), les autres agents entomopathogènes (virus de granuloses, bactéries et champignons) n'ont pas fait l'objet de beaucoup d'études en Afrique au sud du Sahara.

Les biopesticides d'origines microbienne, végétale, ou animale ne sont actuellement employés qu'en conduite biologique de la culture cotonnière et concernent donc de faibles superficies. Il s'agit principalement de préparations contenant des cristaux renfermant les delta-endotoxines de souches de la bactérie *B. thuringiensis* et de préparations à base d'extraits de plantes. Ces préparations sont épanchées au champ comme des insecticides chimiques de synthèse. Les cristaux de delta-endotoxines de *B. thuringiensis* ingérés par une chenille se dissolvent dans son tube digestif, libérant ainsi des toxines qui détruisent les parois de cet organe et provoquent la mort de la chenille par septicémie. Il existe de nombreuses formulations commerciales de toxines de *B. thuringiensis* mais toutes ne satisfont pas aux exigences de l'agriculture biologique.

Parmi les plantes les plus utilisées pour fabriquer des pesticides d'origine naturelle, figure le *neem* (*Azadirachta indica* A. Juss.). La farine

Encadré 5.1. Diversité des prédateurs et des parasites de ravageurs du cotonnier au Mali

Les auxiliaires prédateurs

Araneae

Clubionidae : *Chiracanthium* sp.

Thomisida : *Thomisus dartevellei* Comelini, *T. spinifer* Cambridge, *Thomisus* s., *Misumena nana* Lessert, *Synaema simoneae* Lessert, *Synaema*. spp. (2 espèces)

Oxyopidae : *Oxyopes dumonti* (Vinson), *Oxyopes* sp.

Salticidae : *Myrmarachne* sp., *Rhene* sp., *Thyene inflata* (Gerstäcker)

Theridiidae : *Theridula gonygaster* (Simon)

Tetranagthidae : *Tetranagtha* sp.

Araneidae : *Neoscoma moreli* (Vinson), *Araneus cerolellus* Strand, *Araneus* spp. (3 espèces) [une espèce parasitée probablement par un Ichneumonidae]

Hymenoptera

Formicidae : *Camponotus (Tanaemyrmex)* sp., *Cataglyphis* sp., *Tetramorium* sp., *Myrmecaria* sp., *Crematogaster* sp., *Pheidole* sp., *Polyrhachis* sp., *Brachyponera senaarensis* (Mayr). Le statut de la plupart des espèces de fourmis reste à préciser

Heteroptera

Reduviidae : *Nagusta* sp., *Sphedanolestes picterullus* Schouteden (prédateur de *P. decolorata* sur GL 7), *Phonoctonus lutescens* (Guérin-Ménéville & Percheron), *Pseudophonoctonus ? formosus* Distant, *Vitumnus ? rodhani* Schouteden, *Cosmolestes pictus* Klug

Nabidae : *Tropiconabis capsiformis* (Germar).

Pentatomidae Asoptinae : *Glypsus erubescens* Distant, *Macrorhaphis acuta* Dallas, *Afrilus purpureus* (Westwood)

Lygaeaeidae : *Geocoris amabilis* Stal

Pyrrocororidae : *Probergrothius sexpunctatus* (Laporte de Castelnau)

Coleoptera

Staphilinidae : *Paederus sabaicus* (Walker), *Philonthus* sp.

Coccinellidae : *Cheilomenes propinqua vicina* (Mulsant) [id] *Ch. sulphurea* (Olivier) [*A. gossypii*], *Ch. lunata* (Olivier), *Exochomus concavus* Fürsch [id], *Scymnus senegalensis* Mader., *Scymnus* sp., *Hyperaspis senegalensis*

Carabidae : *Stenocallidea nigriventris* Hope

Diptera

Syrphidae : *Paragus borbonicus* Macquart [*Aphis gossypii*], *Ischiodon aegyptius* (Wiedemann) [id]

Dermaptera

Forficulidae : *Forficula senegalensis* Audinat-Serville



Dictyoptera

Hymenopodidae : *Pseudocreobothra ocellata* Beauv., *Pseudoharpax virescens* (Servill)

Neuroptera

Chrysopidae : *Chrysoperla* sp.

Myrmeleontidae : *Creoleon nubifer* Kolbe, *Creoleon* sp.,? *Banyutus* sp. (très communs dans les bandes enherbées séparant les essais)

D'autres familles sont également représentées (espèces indéterminées): Berytidae, Anthocoridae, Vespidae, Eumenidae, Dolichopodidae, Asilidae, Hemerobiidae, Libellulidae

Les auxiliaires parasitoïdes

Hymenoptera

Encyrtidae : *Copidosoma floridanum* (Ashmed) [*S. derogata*]

Aphelinidae : *Encarcia lounsburyi* (Berlese et Paoli) [*B. tabaci*], *E. transvena* Timberlake [id.], *Encarcia* sp. *africolor* [id.], *Eretmocerus mundus* Mercet [id.]

Braconidae : *Meteorus laphygmarum* Brues (*H. armigera*, *Earias* sp.), *Apanteles syleptae* Ferrière [*S. derogata*]

Chalcididae : *Brachymeria* sp. [*S. derogata*]

Trichogrammatidae : *Trichogramma* spp. [œufs *H. armigera*, *A. flava*, *D. watersi*]

Ichneumonidae : *Xanthopimpla?* *punctata* [*S. derogata*], *Stictopisthus africanus* [id., hyperparasite?]

Diptera

Tachinidae : *Carcelia (Senometopia)* sp. [*H. armigera*], *Steramia* sp. [*X. graellsii*]
(d'après Michel, 1999)

issue des amandes de ses graines, après macération dans l'eau, fournit, après filtrage, la préparation qui sera épandue dans les champs (les feuilles séchées et broyées sont parfois utilisées dans le même but). Cette préparation perturbe plus le comportement des ravageurs (alimentation, mobilité, répulsion et reproduction) qu'elle ne leur est toxique. Dans beaucoup de pays africains, on ajoute à ces préparations des extraits d'autres plantes comme l'huile de *koby* (*Carapa procera* D.C.) ou l'huile de *m'péku* (*Lannea acida* A. Rich) aux propriétés répulsives vis-à-vis de certains ravageurs. Des extraits d'autres plantes et d'autres produits naturels sont actuellement étudiés pour leurs effets sur les ravageurs du cotonnier mais ils n'ont pas encore donné lieu à une diffusion auprès des producteurs de coton biologique. Enfin, il est important de savoir que les auxiliaires peuvent être sensibles à ces pesticides d'origine naturelle, que leurs effets bénéfiques peuvent être

contrariés par des acquisitions de résistance dans les populations de ravageurs ciblés, et que certains pesticides d'origine naturelle peuvent être toxiques pour les humains.

▮ La lutte chimique

Dès leur apparition, les insecticides de synthèse ont séduit par leur efficacité (action de choc, rémanence), la simplicité de leur

Encadré 5.2. Cas d'emploi de baculovirus

Exception faite de *P. gossypiella* et d'*H. derogata*, les populations larvaires de nombreux Lépidoptères ravageurs du cotonnier en Afrique (*H. armigera*, *D. watersi*, *E. insulana*, *E. biplaga*, *C. leucotreta*, *S. exigua*, *A. moloneyi*, *S. littoralis* et *A. flava*) peuvent être réduites de façon spectaculaire par des viroses locales lorsque les conditions sont favorables. Les polyédroses nucléaires provoquées par des baculovirus ont donné lieu au plus grand nombre d'études car des baculovirus responsables de polyédroses chez d'autres insectes (*Mamestra brassicae* L. et *Autographa californica* Speyer), qui pouvaient être produits en quantités suffisantes de manière standardisée, se sont révélées également pathogènes pour les Lépidoptères ravageurs du cotonnier.

Les inclusions polyédriques qui contiennent les baculovirus sont d'abord ingérées par la chenille. À l'intérieur du tube digestif, après la dissolution de l'enveloppe de ces inclusions polyédriques, les baculovirus libérés traversent l'épithélium intestinal pour gagner les corps gras où ils se multiplient en provoquant la lyse des cellules et la mort de l'insecte. La dépouille de la chenille, alors riche en inclusions polyédriques, pourra être à l'origine de la contamination d'autres chenilles. Dans les élevages, ces cadavres de chenilles sont récupérés pour confectionner une préparation qui pourra être pulvérisée dans les champs de cotonniers. Les résultats de ces pulvérisations sont en général satisfaisants si les doses d'épandage (entre 10^{12} et 10^{13} corps d'inclusion polyédrique par hectare) et un *timing* rigoureux sont respectés : épandages au début des infestations car les stades les plus jeunes sont les plus sensibles à ces maladies. Toutefois, leur efficacité reste limitée par un mode d'action conditionné par une ingestion préalable et une rémanence faible (destruction par les ultra-violets et le pH des exsudats foliaires) obligeant à des épandages fréquents.

Dans certaines situations, cette efficacité a pu atteindre celle d'une protection par des insecticides chimiques grâce à l'adjonction de phagostimulants (pratiqué au Bénin actuellement en culture biologique) et de très faibles doses d'insecticide. Cependant, le coût de telles applications (essentiellement lié à la production de quantités suffisantes de baculovirus) demeure souvent un obstacle à la diffusion de cette méthode de lutte dite « conjuguée ».



application et les bénéfices qu'ils engendraient immédiatement. Très vite, des programmes de protection proposant des formulations et des techniques d'application appropriées ont été mis au point par la recherche pour répondre aux besoins des producteurs de coton en Afrique subsaharienne.

Interventions sur calendrier

Si les matières actives et les techniques d'application ont pu régulièrement bénéficier d'avancées de la recherche (principalement privée), les programmes de protection n'ont pas beaucoup évolué jusqu'à la fin des années 1980. Il s'agissait d'interventions (ou traitements) calendaires (à dates fixes) réalisées tous les 14 jours en démarrant peu après le début du cycle fructifère du cotonnier (45^e jour après la levée). Cinq à six traitements insecticides étaient alors effectués au cours d'une campagne. Le nombre de traitements insecticides était donc relativement faible par rapport aux pratiques en vigueur à la même époque dans d'autres pays producteurs de coton (pays d'Amérique centrale, Brésil, Thaïlande, États-Unis, etc.). La même formulation insecticide, contenant, le plus souvent, plusieurs matières actives insecticides (deux ou trois), était en général utilisée du début à la fin du programme de protection. En dehors de cette particularité relative aux matières actives insecticides, ce programme de protection est encore très largement mis en œuvre chaque année dans les différents pays producteurs de coton au sud du Sahara, même si toutes les recommandations ne sont pas souvent respectées dans leur intégralité. En 2010, il concernait 88 % des superficies au Bénin, 99 % au Cameroun, 67 % au Mali, 87 % au Sénégal et 100 % au Togo. À l'image de ce qui est observé au Mali où il procure au minimum 70 % du potentiel de production et en moyenne 90 % de ce potentiel (figure 5.8), ce programme de protection est très robuste. Les défaillances parfois enregistrées en milieu producteur proviennent le plus souvent d'un non-respect du calendrier des interventions et/ou des quantités d'insecticides à utiliser, de formulations insecticides défectueuses ou encore de mauvaises techniques d'application.

Interventions sur seuils

À la fin des années 1980, les programmes de protection ont commencé à évoluer pour deux raisons principales :

- la suppression des subventions pour les intrants, en particulier phytosanitaires, a conduit à rechercher des stratégies de protection moins consommatrices d'insecticides pour alléger les charges des producteurs;

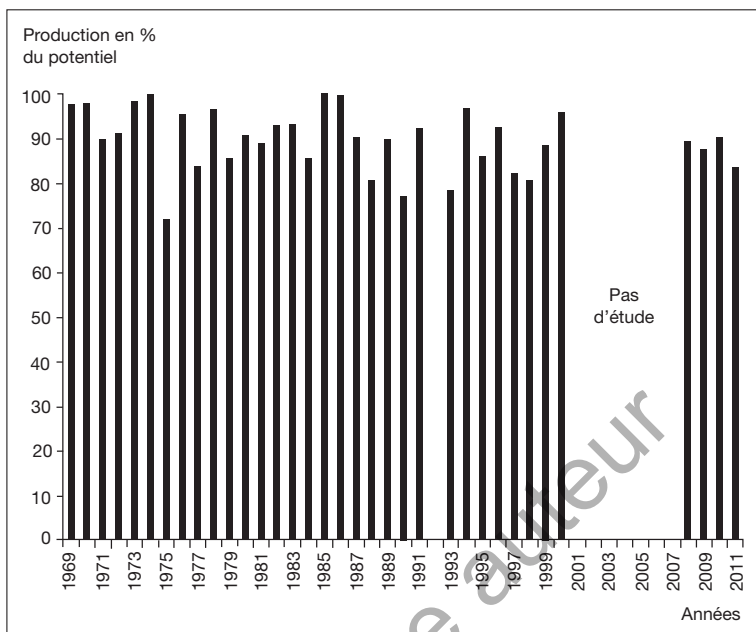


Figure 5.8.

Efficacité du programme d'interventions calendaires :
 expression des rendements observés rapportés à la valeur du potentiel
 (résultats obtenus au Mali, de 1969 à 2011).

– les préoccupations croissantes des producteurs et de la société civile pour la préservation de l'environnement et la santé humaine ont renforcé cette orientation.

Pour atteindre cet objectif, il est apparu judicieux de n'employer des insecticides que lorsque les populations ou les dégâts des principaux ravageurs le justifiaient. Les niveaux de population ou de dégâts à partir desquels la lutte chimique est requise sont appelés « seuils économiques de dégâts » (encadré 5.3) et les interventions chimiques réalisées avant que les infestations ou les dégâts n'atteignent ces seuils sont alors appelées « traitements sur seuils ». Pour limiter les risques pris par les producteurs, il est apparu préférable de ne pas faire reposer la protection de leurs cultures cotonnières uniquement sur ces traitements sur seuils. Ainsi, des programmes dits de lutte étagée ciblée, associant des traitements à des dates fixes (traitements calendaires) et des traitements sur seuils ont été proposés aux producteurs (tableau 5.2 et figure 5.9).



Lors de chaque traitement (calendaire ou sur seuils), les doses d'insecticides employées sont toujours égales à la moitié des doses recommandées. Pour les traitements sur seuils, les matières actives sont parfois choisies en fonction des ravageurs ciblés. Les traitements calendaires avec des demi-doses d'insecticides ont lieu tous les 14 jours à partir du 45^e jour après la levée et les traitements sur seuils peuvent être réalisés soit en même temps que les traitements calendaires, soit 7 jours après chaque traitement calendaire lorsque les infestations ou les dégâts de certains ravageurs ont atteint ou dépassé les seuils établis (tableau 5.3).

Les performances des programmes de lutte étagée ciblée ont généralement donné satisfaction. Aucune perte de production n'a été observée et les économies d'insecticides ont toujours été importantes, même si elles ont pu légèrement fléchir dans certains pays après plusieurs années de diffusion : elles étaient de l'ordre de 50 % jusqu'à la fin des années 1990 et sont de l'ordre de 35 % au cours des dernières campagnes au Mali. Toutefois, après avoir couvert jusqu'à 70 % des superficies en 1994, le programme de lutte étagée ciblée n'est pratiquement plus appliqué au Cameroun depuis 2007, ni au Togo depuis 2001, où il n'a jamais concerné plus de 5,2 % des superficies. La raison de cette désaffection est souvent le manque de rentabilité économique par rapport au surplus de travail inhérent aux observations. Actuellement, seuls le Bénin (sur 11,8 % des superficies en 2010) et le Mali (sur 24,1 % des superficies en 2010) continuent de diffuser des programmes de lutte étagée ciblée.

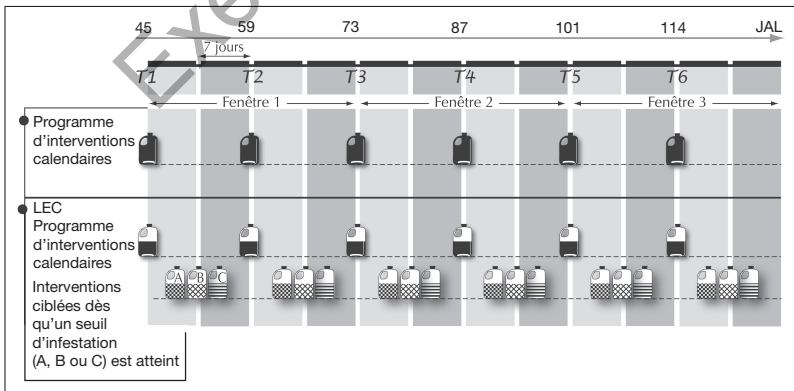


Figure 5.9.

Présentation des différents types de programmes de traitements d'intervention. Interventions calendaires et lutte étagée ciblée.

Tableau 5.2. Comparaison de quatre programmes de protection, et indications des quantités d'insecticides qui peuvent être utilisées à chaque traitement en fonction de leur spécificité d'action.

Programme de protection		Cibles		Dates en jours après levée (JAL)											
				45	52	59	66	73	80	87	94	101	107	115	122
Interventions calendaires	Tous les ravageurs	Pas de seuil	Dose normale	Dose normale	Dose normale	Dose normale	Dose normale	Dose normale	Dose normale	Dose normale	Dose normale	Dose normale	Dose normale	Dose normale	Dose normale
	Tous les ravageurs	Pas de seuil	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale
Interventions en lutte étagée ciblée (LEC)	Chenilles de la capsule	Seuil	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale
	Insectes piqueurs suceurs	Seuil	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale
	Acariens phyllophages	Seuil	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale	Demi-dose normale



Tableau 5.3. Principaux seuils d'infestation utilisés en Afrique au sud du Sahara.

	Bénin	Côte d'Ivoire	Togo	Burkina Faso	Mali	Sénégal
Nombre de plants observés par parcelle	40	30	30	30	25	25
Chenille de la capsule	<i>H. armigera</i>	3 chenilles	3 chenilles	5 chenilles	5 chenilles	3 chenilles
	<i>D. watersi</i>	10 chenilles	3 chenilles	5 chenilles	5 chenilles	5 chenilles
	<i>Earias</i> spp.	10 chenilles	3 chenilles	5 chenilles	5 chenilles	5 chenilles
	<i>P. gossypiella</i>	10 chenilles	3 chenilles	5 chenilles	5 chenilles	5 chenilles
	<i>T. leucotreta</i>	10 chenilles	3 chenilles	5 chenilles	5 chenilles	5 chenilles
Chenilles phytophages	<i>H. derogata</i>	10 plants infestés	3 plants infestés	8 plants infestés	5 plants infestés	5 chenilles
	<i>S. littoralis</i>			8 chenilles		5 chenilles
	<i>A. flava</i>			8 chenilles		5 chenilles
Pucerons	33 plants infestés	10 plants infestés		21 plants infestés	20 plants infestés	10 plants infestés
Aleurodes				10 plants infestés	20 plants infestés	10 plants infestés
Jassides		10 plants infestés				
Tarsonèmes	1, 2 ou 3 plants infestés					

Encadré 5.3. Détermination du seuil économique de dégâts (*Economic Injury Level*)

Le seuil économique de dégâts est le niveau de populations ou de dégâts d'un ravageur à partir duquel les pertes économiques engendrées par ce ravageur sont égales au coût d'une mesure de contrôle de ce ravageur.

Le calcul de ce seuil économique de dégâts est donné par la formule suivante :

$$\text{EIL (seuil économique de dégâts)} = C / \text{VIDK}$$

avec

C = coût de la mesure de contrôle (exprimé par unité de surface)

V = la valeur marchande de la production (exprimée par unité de poids)

I = dégâts provoqués par ravageur et par unité de surface

D = pertes de production en poids engendrées par unité de dégât

K = taux de réduction de dégâts résultant de la mise en œuvre de la mesure de contrôle (efficacité de la mesure de contrôle).

Des études spécifiques devraient être conduites pour déterminer la valeur de ce seuil pour chaque ravageur (en particulier pour préciser les relations entre I et D), mais dans la pratique cette valeur résulte le plus souvent de « dires d'experts ».

À la suite de ces premières expériences, certains pays ont tenté d'aller plus loin en matière d'économies d'insecticides. Le Mali est actuellement le pays le plus avancé dans ce domaine puisqu'un programme, qui ne comporte plus que des traitements sur seuils (programme dit de traitements sur seuils), a été diffusé à partir de 2001. Ce programme concernait 9,2 % des superficies en 2010. Le suivi des infestations en ravageurs (les mêmes qu'en lutte étagée ciblée) est hebdomadaire et commence dès le 30^e jour après la levée. Les seuils utilisés sont les mêmes qu'en lutte étagée ciblée mais, lorsqu'ils sont atteints les formulations insecticides sont utilisées aux doses recommandées (et non plus aux demi-doses) et un intervalle de 14 jours est respecté entre deux traitements insecticides sur seuils. Ce programme de traitements sur seuil génère un peu plus de 70 % d'économies d'insecticide par rapport au programme d'interventions calendaires et plus de 50 % par rapport à la lutte étagée ciblée. Ses performances productives sont apparues très légèrement inférieures à celles des deux autres approches de protection (jamais de manière significative) mais sa rentabilité reste toujours supérieure.

Le Cameroun a suivi l'exemple du Mali en diffusant à partir de 2006 un programme de traitements sur seuils appelé lutte par observation individuelle des chenilles (LOIC) où les interventions sur seuils ne



concernent que les chenilles de la capsule. Les infestations de ces ravageurs sont échantillonnées toutes les semaines de manière séquentielle afin de réduire le temps consacré aux observations. Celles-ci peuvent être arrêtées plus tôt si les infestations sont très élevées ou très faibles. Une planchette spécifique à l'usage des producteurs a été confectionnée (figure 5.10). Ce programme LOIC, qui concernait près de 10 % des superficies en 2013, ne procure pas toujours des économies d'insecticides car son principal atout réside dans un meilleur positionnement (*timing*) des traitements insecticides par rapport à la dynamique des infestations en chenilles de la capsule.

Très récemment (en 2010), le Sénégal a diffusé un programme de traitements sur seuil voisin de celui adopté au Mali. Dans les autres pays qui ont abandonné les programmes de lutte étagée ciblée, différentes approches ont été proposées pour mettre en œuvre des traitements sur seuil. En Côte d'Ivoire, des seuils ne sont utilisés que pour les deux premiers traitements, à l'inverse, au Burkina Faso les interventions sur

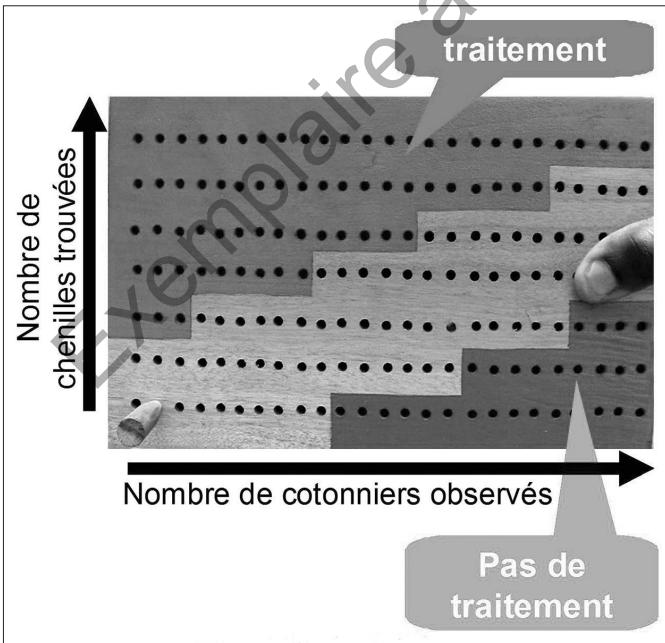


Figure 5.10.

Photographie d'une planchette d'échantillonnage séquentiel pour la lutte par observation individuelle des chenilles (LOIC) au Cameroun. (© Thierry Brévault / Cirad)

seuil ne peuvent être réalisées qu'après les deux premiers traitements. Enfin, des traitements sur seuil ne sont envisagés au Togo que pour contrôler les fortes infestations d'*H. armigera*.

La réduction de l'utilisation d'insecticides en cultures cotonnières est donc bien engagée en Afrique subsaharienne, même s'il reste encore beaucoup de chemin à accomplir pour qu'elle concerne un plus grand nombre de producteurs. Les principales difficultés rencontrées dans le transfert de ces nouvelles pratiques de protection résident dans le manque de connaissances des producteurs sur l'entomofaune du cotonnier (identification, biologie, répartition, échantillonnage et incidence des ravageurs mais aussi diversité, biologie et rôle de la faune auxiliaire) et sur les méthodes de lutte chimique contre les ravageurs (diversité de matières actives, doses d'emploi, spectre d'action, effets non intentionnels, techniques d'épandage, etc.). On peut remédier à ces lacunes par la mise en place de «champs écoles des producteurs», comme cela est pratiqué au Mali, au Bénin, au Burkina Faso et au Sénégal pour diffuser les principes de la gestion intégrée de la production et des prédateurs, ou par des formations en cascade moins coûteuses, les agents des services du développement étant les relais entre les chercheurs et les producteurs. L'édition de guides de bonnes pratiques, en support papier ou audiovisuel et la distribution de planchettes pour suivre les infestations des principaux ravageurs contribuent à la formation des producteurs.

Les matières actives insecticides

Dans les années 1960, les matières actives utilisées en Afrique étaient des organo-chlorés (principalement le DDT, l'endrine, le toxaphène, le polychlorocamphène) qui contrôlaient surtout les chenilles de la capsule (les principaux ravageurs). Puis, en raison de l'apparition de résistance à ces premières matières actives dans les populations de ces ravageurs, d'autres matières actives firent leur apparition en fonction des progrès de l'industrie pharmaceutique : principalement l'endosulfan et des organo-phosphorés (le monocrotophos, le diméthoate, le triazophos, etc.). Au début des années 1980, les premiers pyréthrinoïdes furent utilisés en culture cotonnière en Afrique et connurent beaucoup de succès en raison de leur excellente efficacité vis-à-vis des chenilles de la capsule, même à de très faibles doses (quelques grammes ou dizaines de grammes par hectare). Cependant, leur inefficacité vis-à-vis des piqueurs suceurs et l'apparition de résistances aux pyréthrinoïdes dans les populations d'*H. armigera* vers le milieu des années 1990 ont conduit à leur adjoindre d'autres



matières actives et à restreindre leurs périodes d'utilisation au cours d'une campagne de manière concertée entre les pays d'une même sous-région (programmes considérant deux ou trois périodes appelées «fenêtres de protection» au cours desquelles les matières actives pouvant être utilisées sont précisées). En général, des alternatives aux pyréthrinoïdes sont employées au cours de la première fenêtre (soit les deux premiers traitements insecticides calendaires) : profénofos, indoxacarb, spinosad, emamectine-benzoate, spirotetramate-flubendiamide, etc. (l'endosulfan a été interdit d'utilisation à partir de 2009 dans la plupart des pays). Pour la (ou les) fenêtre(s) suivante(s), les pyréthrinoïdes peuvent de nouveau être employés mais ils sont souvent associés à d'autres matières actives pour compléter leur spectre d'action. Enfin, en présence de fortes populations d'*H. armigera* en fin de campagne, des alternatives nouvelles aux pyréthrinoïdes (indoxacarb, chlorfenapyr, etc.) sont utilisées dans certains pays pour les deux dernières applications insecticides calendaires (troisième fenêtre de protection).

Les techniques de pulvérisation

Pour épandre les formulations insecticides miscibles à l'eau, les producteurs ont d'abord utilisé des pulvérisateurs à dos à pression entretenue équipés chacun d'une rampe horizontale munie de quatre buses (jets) permettant de traiter deux rangs de cotonniers à chaque passage. La quantité d'eau nécessaire à la réalisation d'un traitement (de l'ordre de 80 litres par hectare) a constitué un frein important à l'adoption des recommandations de protection en raison de la difficulté pour la trouver à proximité des champs et de la pénibilité du travail qu'elle engendrait.

Pulvérisation ultra bas volume (UBV)

Pour y remédier, une nouvelle technique de pulvérisation a été proposée aux producteurs de coton à partir du milieu des années 1970. Cette technique, dite à ultra bas volume (UBV) (1 ou 3 litres / ha selon les pays), repose sur l'emploi d'un pulvérisateur manuel constitué d'un tube contenant des piles (de 4 à 6 piles de 1,5 volt) pour faire tourner à grande vitesse un disque. Ce disque reçoit par gravité, à travers une buse calibrée, une formulation insecticide huileuse (contenue dans un réservoir d'un litre). Il en assure la fragmentation en fines gouttelettes grâce à sa vitesse de rotation et à la présence de crans sur ses bords. Le disque de pulvérisation étant maintenu au-dessus de la cime de cotonniers, ces gouttelettes se déposent sur leurs feuillages. Le nuage

de gouttelettes insecticides créé par cet appareillage étant porté par le vent, six rangs de cotonniers peuvent être protégés par passage. La disparition de la contrainte de l'apport d'eau, la moindre pénibilité et la rapidité de réalisation des pulvérisations (3 fois plus rapide qu'avec le pulvérisateur à pression entretenue) ont eu pour conséquence un meilleur respect des recommandations de protection (surtout en termes de nombre de traitements) qui s'est traduit par une augmentation des rendements. Cependant, seules les cimes des cotonniers (sites de ponte privilégiés par les noctuelles) et les faces supérieures des feuilles étaient bien protégées avec cette nouvelle technique de pulvérisation. Les ravageurs hébergés dans les étages inférieurs des plants ou sur les faces inférieures des feuilles étaient moins bien contrôlés.

D'autres problèmes techniques ont été rencontrés : vitesse de rotation du disque de pulvérisation insuffisante en raison de piles usagées ou de mauvaise qualité, cristallisation de matières actives sur les disques, obstruction de buses, écoulement trop lent ou trop rapide des formulations à travers la buse, etc. De plus la nature huileuse des formulations insecticides était source d'autres désavantages : impossibilité d'emploi de certaines matières actives (dose d'utilisation élevées ou faible solubilité dans l'huile), formulations onéreuses car créées spécifiquement pour l'Afrique et parfois même pour un seul pays, etc.

Pulvérisation électrostatique

La pulvérisation électrostatique (les gouttelettes de formulations insecticides sont chargées pour être attirées par le cotonnier) assure une meilleure couverture des organes de la plante (en particulier des faces inférieures des feuilles). Cependant, elle n'a pas connu de diffusion en Afrique subsaharienne pour plusieurs raisons : crainte de contaminations de l'opérateur, rareté des formulations compatibles, dépendance vis-à-vis d'une seule société phytosanitaire, conditionnement coûteux des formulations, cherté des pulvérisateurs, faible pénétration des pulvérisations à l'intérieur de la canopée (en particulier dans la partie basse des plants) lorsque les plants sont bien développés, etc.

Pulvérisation très bas volume (TBV)

En revanche, la technique de pulvérisation à très bas volume (TBV) (à 10 litres de bouillie insecticide par hectare) a connu plus de succès. La bouillie insecticide est préparée hors champ en ajoutant de l'eau aux quantités de formulations insecticides requises pour atteindre le volume de bouillie à épandre à l'hectare. Cette technique de pulvérisation repose sur les mêmes équipements que les techniques de pulvérisation



ultra bas volume (UBV) auxquels on a simplement adjoint un réservoir annexe de 5 litres contenant la bouillie insecticide pour permettre le remplissage au champ du réservoir de 1 litre de l'appareil de traitement dès que son contenu a été épandu (Planche couleur).

En pulvérisation TBV, les gouttelettes de bouillie insecticide sont de plus grandes tailles que celles issues des techniques de pulvérisation UBV, ce qui permet de mieux atteindre les étages inférieurs des cotonniers mais réduit la portée des pulvérisations à 3 lignes au lieu de 6 lignes. Le principal avantage de cette technique de pulvérisation réside dans l'emploi de formulations insecticides miscibles à l'eau très largement commercialisées à travers le monde à des concentrations parfois élevées pour certaines matières actives. En conséquence, le coût des traitements insecticides a pu être réduit, et par l'utilisation de formulations ne contenant qu'une seule matière active, les ravageurs ont pu être ciblés. C'est en grande partie grâce à cette technique de pulvérisation que les nouveaux programmes de protection, reposant sur des seuils, ont vu le jour en Afrique subsaharienne.

Cependant, depuis quelques années, certains producteurs ont abandonné cette technique pour revenir à l'utilisation d'appareils à pression entretenue équipés d'une lance (Burkina Faso et Côte d'Ivoire). Les raisons de cet abandon ne sont pas encore bien connues. Une mauvaise efficacité vis-à-vis d'insectes piqueurs suceurs ou la nécessité d'acheter les piles en cours de campagne avec certaines sociétés cotonnières sont parfois évoquées à propos de la technique très bas volume.

Le traitement des semences

L'objectif principal des traitements de semences est d'assurer une protection des jeunes plantules du cotonnier vis-à-vis d'agents phytopathogènes responsables de fontes de semis (*Rhizoctonia solani*, *Pythium* spp, *Colletotrichum gossypii*, *Phytophthora parasitica*, etc.) et de limiter les risques de développement de la bactériose (*Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum*). Des insecticides de contact sont toujours adjoints pour contrôler les ravageurs de ces premiers stades de développement du cotonnier (fourmis et iules essentiellement). Des matières actives insecticides systémiques ont par la suite été proposées en remplacement de ces insecticides de contact pour étendre le contrôle à d'autres ravageurs de début de cycle sur une période un peu plus longue; ce sont essentiellement les pucerons, les altises, les charançons et, dans certains cas, les jassides puisque la pilosité foliaire n'est pas suffisamment développée à ces stades.

Cependant, malgré des effets parfois bénéfiques sur le développement physiologique de plants, ces matières actives ne sont pas encore très employées en traitement de semences en raison de leur coût élevé et de risques non négligeables pour la faune auxiliaire (néonicotinoïdes).

Perspectives d'évolution de la protection du cotonnier

La réduction de l'utilisation d'insecticides en culture cotonnière est une tendance irréversible à l'échelle mondiale. Grâce à la définition de seuils pour déclencher des traitements contre certains ravageurs, de nombreux producteurs de coton en Afrique subsaharienne sont déjà bien engagés dans cette voie. À court terme, la formation des producteurs à ces pratiques est requise. À l'avenir, le pilotage de la protection insecticide sur seuil devra mieux tenir compte des processus d'élaboration de la production à l'échelle de la parcelle (en grande partie fonction de l'itinéraire technique suivi) et des populations d'auxiliaires présentes, pour une efficacité et des économies d'insecticides encore plus importantes.

En effet, il n'est pas logique de conserver le même seuil du début à la fin de la campagne, sachant que l'incidence sur la production de l'infestation d'un ravageur donné ne sera pas la même selon le moment où elle intervient. Pour beaucoup de ravageurs, les seuils seraient probablement croissants du début à la fin de la campagne. Seuls les agents responsables d'une dépréciation de la qualité de la fibre après l'ouverture des capsules échapperaient à cette règle, mais la lutte chimique contre ces ravageurs n'est en général pas la meilleure stratégie pour limiter leurs nuisances. La durée des périodes à considérer et les valeurs des seuils qui leur seront associés dépendent aussi de l'itinéraire technique suivi par les producteurs, en particulier en matière de date de semis, de précocité variétale, de fertilisation, de densité de plantation et de toute autre pratique susceptible de modifier les processus d'élaboration de la production. Connaître parfaitement comment s'élabore la production à l'échelle d'une parcelle en fonction de l'itinéraire technique suivi et en l'absence de ravageurs (potentiel de production), ainsi que les capacités de compensation de la plante, est un préalable à la définition des seuils dynamiques.

Actuellement, les populations d'auxiliaires ne jouent pas un rôle très important dans la régulation des populations de ravageurs du cotonnier en Afrique subsaharienne. Le renforcement de leur rôle est un impératif pour assurer la durabilité des systèmes de production de



coton. Il passe par une gestion raisonnée des insecticides, privilégiant le recours à des matières actives sélectives. Il serait également important de mettre au point des seuils de traitement tenant compte des populations d'auxiliaires, en particulier en début de campagne au moment où les seuils sont les plus bas et où les populations d'auxiliaires commencent à se mettre en place. Cependant, ce perfectionnement des interventions sur seuil suppose de très bonnes connaissances sur le rôle des auxiliaires dans la régulation des populations de ravageurs.

Il est encore difficile d'envisager des lâchers d'auxiliaires en culture cotonnière. Pour augmenter l'impact de la faune auxiliaire, il convient d'explorer d'autres voies. Des plantes dites « de service », cultivées en association avec le cotonnier, pourraient être utilisées pour favoriser les ennemis naturels (lutte biologique par conservation), en leur fournissant des ressources alternatives (proies, refuges, nectar, etc.). Il reste cependant beaucoup d'études à entreprendre pour découvrir les traits fonctionnels de certaines plantes qui, en association à des cotonniers dans des géométries qui restent à définir (en association, en bordure, à l'échelle du paysage, etc.), enrichiront la faune auxiliaire des cultures cotonnières. Les techniques liées à l'agro-écologie offriront probablement des opportunités dans ce domaine. Toutefois, il faudra rester prudent dans l'augmentation de la diversité végétale au sein des parcelles de cotonniers car des effets contraires à ceux recherchés pourraient apparaître. Une autre voie pour augmenter la faune auxiliaire des cultures cotonnières serait d'utiliser des substances attractives pour les ennemis naturels. Chasser les ravageurs de la culture cotonnière sans chercher à les combattre (par des technologies *push*) n'a pour l'instant été mis en œuvre qu'en agriculture biologique, avec l'utilisation de certaines substances répulsives d'origine végétale. Des études en cours sur les phénomènes de résistance induite chez le cotonnier (en particulier les émissions de composés organiques volatils) pourraient, par exemple, permettre d'identifier des composés potentiellement utilisables.

L'écimage des cotonniers pratiqué au début de la floraison (10 jours après l'apparition de la première fleur), pour n'avoir aucune incidence négative sur la production, permettait de réduire significativement les dégâts. L'écimage déclencherait chez la plante l'émission de composés organiques volatils spécifiques qui repousseraient des femelles des noctuelles en quête d'un site de ponte.

La gestion des ravageurs du cotonnier ne peut se limiter à l'échelle de la parcelle, puisque les insectes sont capables de se déplacer. Il convient sans doute d'identifier dans des espaces plus larges, comme le terroir

ou le village, les déterminants (composition et structure du paysage, pratiques agricoles) de l'abondance des populations de ravageurs et de leurs ennemis naturels. Des modes de gestion collective de ces espaces pourraient être proposés, en accord avec les utilisateurs, pour limiter les contraintes phytosanitaires et réduire l'utilisation d'insecticides en culture cotonnière.

Dans le futur, l'industrie phytosanitaire proposera probablement des innovations aussi bien dans de nouvelles matières actives insecticides que dans les manières de les utiliser. La portée de ces innovations sera probablement limitée, car la réduction de leur usage est une tendance forte sur l'avenir. Cependant, toute innovation de la part de l'industrie phytosanitaire dans les domaines du contrôle génétique (plantes « insecticides », plantes répulsives, etc.), de la lutte biologique (préparation de baculovirus, de champignons entomopathogènes, etc.) ou biotechnique (substances répulsives, attractives vis-à-vis d'auxiliaires, perturbant le comportement des ravageurs, déclenchant des mécanismes de défense chez les plantes, etc.) méritera d'être examinée avec attention.



6. Le cas des cotonniers transgéniques

*Jean-Luc Hof*s

Un organisme génétiquement modifié (OGM, définition européenne) est un organisme dont le matériel génétique a été modifié d'une manière qui ne s'effectue pas naturellement par multiplication et/ou par recombinaison. Par définition, cela ne peut pas s'appliquer aux êtres humains. C'est une intervention humaine qui permet d'intégrer une petite portion d'ADN d'un organisme dans l'ADN d'un autre organisme dans la majorité des cas. Pour cela, on utilise des techniques de recombinaison ou de modification de l'ADN présent dans l'organisme receveur. Il s'agit d'une insertion de molécules d'acides nucléiques à l'intérieur d'un vecteur, molécules produites de n'importe quelle façon, ou d'une modification de l'ADN dans l'organisme hôte.

Aujourd'hui, de nombreux gènes codant pour la production d'une série de molécules aux propriétés variées sont exploités en transgénèse. Chez le cotonnier, deux types de traits majeurs sont exploités : la résistance à certains insectes ravageurs et la résistance aux herbicides. Dans le premier cas, l'objectif principal de la modification génétique est de conférer aux plantes une aptitude à résister aux attaques de ravageurs qui, en l'absence de modification, occasionneraient des pertes importantes de production. Dans le second cas, le ou les gènes introduits permettent à la plante de contourner l'effet de l'herbicide lorsqu'il est appliqué sur toute la surface cultivée.

Dans ce chapitre, nous ne nous intéresserons que succinctement à la catégorie des cotonniers transgéniques produisant des toxines de *Bacillus thuringiensis* (Bt), la plus répandue dans le petit paysannat africain. Certains aspects du mode d'action de ces toxines sont exposés ici car ils conditionnent nombre de questions majeures, comme l'innocuité, l'impact sanitaire et environnemental ou encore la résistance. Un grand nombre de faux problèmes, de perceptions erronées et d'incompréhensions entre les divers acteurs de la société trouvent leur origine dans la méconnaissance de ces mécanismes.

Mode d'action de la lutte chimique comparé à celui des OGM Bt

Les toxines de *B. thuringiensis* sont des poisons stomacaux et non des poisons de contact comme la plupart des insecticides chimiques.

▮ Mode d'action des insecticides

La plupart des insecticides chimiques sont en effet des neurotoxines de contact. Il n'est pas nécessaire que l'insecte avale le produit pour que celui-ci soit actif. Il suffit d'un simple contact à dose extrêmement faible. La molécule traverse seule la cuticule des insectes ou la peau des mammifères, oiseaux ou autres, avant de diffuser dans l'organisme et d'aller détruire leur système nerveux. Ce mode d'action n'est absolument pas spécifique et touche tous les animaux (et donc les humains). Ceci explique à la fois leur large spectre d'hôte (ce qui est intéressant du point de vue économique et de l'efficacité) et en conséquence leur absence de spécificité et leur nocivité pour l'environnement et pour la santé.

La différence de sensibilité des êtres vivants est uniquement due à un effet dose. Plus la cible est volumineuse et plus la quantité de matière active nécessaire est importante. Les doses utilisées sont calculées pour n'affecter que les petits organismes, et donc toute la petite faune présente. Cependant, la rémanence de ces produits et leur accumulation dans les chaînes alimentaires, l'eau et l'environnement conduit à des doses cumulées affectant les grands organismes.

▮ Mode d'action des toxines de Bt

Le mode d'action des toxines insecticides de *B. thuringiensis* est fondamentalement différent. L'organisme cible doit obligatoirement ingérer la toxine et donc s'alimenter sur un produit contenant cette toxine. Le mode d'action de la toxine reste fondamentalement différent de celui des insecticides chimiques. L'organe cible n'est pas le système nerveux mais l'intestin. La toxicité n'est pas directe mais apparaît en conséquence d'une chaîne complexe d'événements précis et obligatoires. Dans le cas des biopesticides (produits de lutte biologique non vivants issus de plantes, bactéries et épandables), les corps d'inclusions ou les cristaux contenant les toxines sont ingérés par l'insecte cible. Le reste du



processus ne peut se dérouler que dans le tube digestif de l'insecte. Le cristal est dissout et les protéines qu'il contient sont libérées. Celles-ci ne sont pas directement toxiques, ce sont des « protoxines » qui ne sont pas encore actives. C'est l'insecte lui-même qui active la toxine par certaines de ses enzymes digestives, des protéases. La toxine activée va alors reconnaître un récepteur très spécifique à la surface du tube digestif et se fixer dessus avant de pénétrer dans la membrane, créer un pore et détruire la cellule, puis se propager à l'ensemble du tube digestif.

Cette succession d'événements doit obligatoirement se dérouler dans cet ordre précis, sans quoi aucun effet insecticide n'apparaît. Plusieurs étapes de cette succession d'événements sont très spécifiques dont la plus importante est la reconnaissance du récepteur. Une toxine ne reconnaît qu'un nombre très limité de sites récepteurs et, en conséquence, une toxine donnée n'est active que contre un nombre très limité d'insectes cibles. S'il n'y a pas de fixation sur le récepteur, il n'y a pas d'activité toxique.

Ceci explique la grande spécificité des toxines et leur innocuité environnementale. Comme les vertébrés (donc les mammifères et les humains) sont dépourvus de tels récepteurs, les toxines ne peuvent s'y fixer. Les toxines « Cry » utilisées contre des insectes ne reconnaissent pas de récepteurs chez les vertébrés et sont donc éliminées dans le transit intestinal ou dégradées pour devenir une source de protéines alimentaires. De plus, ces toxines sont, de toute façon, détruites avant d'atteindre l'intestin par l'hydrolyse acide dans l'estomac des mammifères où le milieu est très acide (pH 1,5 environ). Ce sont ces caractéristiques très précises qui ont conduit à reconnaître les toxines Cry et les produits à base de *B. thuringiensis* comme étant sans danger vis-à-vis des mammifères, des oiseaux et des insectes non ciblés en comparaison avec les insecticides chimiques conventionnels. Il existe plus de quarante années d'analyses toxicologiques dont les conclusions convergent toutes vers l'innocuité de leur utilisation.

▮ Deux stratégies différentes : biopesticide Bt et plant Bt

La différence entre les deux stratégies de lutte (biopesticide Bt et plante Bt) est très minime; elle repose simplement sur le mode de délivrance de la toxine. Cette différence relève d'un aspect technique d'ingénierie génétique. La partie du gène codant pour les toxines actives d'une toxine Cry correspond environ à la moitié du gène cry. Le reste de la séquence sert à la formation du corps d'inclusion, qui est

essentiel pour la bactérie et les biopesticides mais totalement inutile, voire préjudiciable, dans le cas d'une plante transgénique. Cette partie a donc été éliminée dans les plantes Bt et la partie exprimée correspond globalement à la toxine déjà activée. Une autre différence technique intervient : la séquence du gène est modifiée pour correspondre à la « machinerie cellulaire » de la plante qui est différente de celle d'une bactérie. Un gène natif de *B. thuringiensis* sera très mal exprimé dans une plante car sa séquence porte des signaux mal interprétés par celle-ci. Si la séquence est modifiée pour être reconnue par la plante, la protéine est identique à celle produite par *B. thuringiensis*. Il s'agit du phénomène connu sous le nom de « dégénérescence du code génétique » et qui veut que des gènes de séquences différentes puissent produire exactement la même protéine. C'est ce qui est obtenu dans les plantes Bt, le gène est adapté au laboratoire pour une expression optimale dans la plante mais la toxine produite par la plante est 100 % identique à la toxine activée par l'insecte ingérant un biopesticide. La matière active est exactement la même. La délivrance transgénique est l'équivalent en lutte biologique de la délivrance systémique en lutte chimique. Une plante Bt n'est en fait rien d'autre qu'un produit de lutte biologique systémique.

La commercialisation des plantes génétiquement modifiées, dont le cotonnier, a débuté dans les années 1990. Les surfaces plantées n'ont cessé de croître dans les zones géographiques où leur culture est autorisée (figure 6.1 selon l'ISAAA : International Services for the Acquisition of Agro-biotech Applications).

Spécificité du coton Bt

Le cotonnier transgénique s'est d'abord répandu dans les zones d'agriculture mécanisée, mais il s'est rapidement diffusé dans les petits paysans africains dans lesquels les cotonniers génétiquement modifiés sont de type Bt (*Bacillus thuringiensis* cry1Ac et cry2Ab). Des études de terrain sont en cours pour adapter des variétés à deux gènes Bt complémentés ou non avec un ou deux gènes de résistance aux herbicides.

Cette section traite essentiellement des cotonniers Bt comme un exemple pour toutes les autres applications de cotonniers génétiquement modifiés. L'expérience acquise dans ce domaine est discutée pour une application dans les pays en développement (PED).

Après la première introduction commerciale des cultures Bt aux États-Unis (1996), la pertinence de leur usage dans les pays en

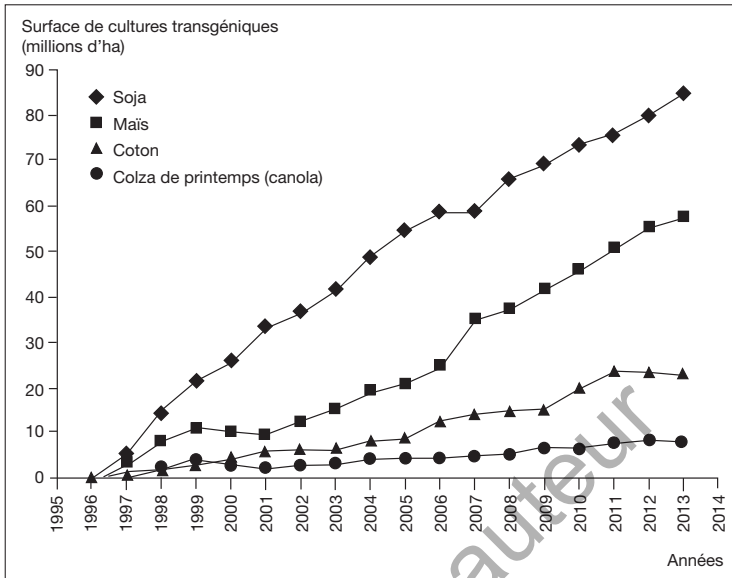


Figure 6.1.

Évolution des surfaces plantées en cultures génétiquement modifiées dans le monde (source : ISAAA, juin 2014).

développement, en particulier par les petits producteurs, a été débattue et étudiée par divers observateurs dont on résume les observations principales ci-après. La question posée est de savoir si la technologie répond bien aux attentes de l'agriculture familiale africaine.

▮ Constats majeurs observés sur les cultures transgéniques de cotonnier

Les variétés de cotonnier transgéniques ont été créées et commercialisées aux États-Unis par des compagnies privées pour faire face à la recrudescence de la résistance aux insecticides chez les Lépidoptères ravageurs des capsules.

La culture de cotonnier génétiquement modifié montre des rendements au champ très variables selon les pays.

Le faible degré d'intensification de l'agriculture paysanne pourrait constituer un facteur limitant à la pleine expression des cotonniers génétiquement modifiés.

La grande diversité des rendements observés et des pratiques culturales s'explique par de nombreux facteurs tels que la date de semis, la pluviosité d'avant saison, la situation de la main-d'œuvre ou l'équipement agricole.

Même si l'usage des produits insecticides n'est pas fréquemment abordé dans le détail dans les études réalisées à ce jour, l'introduction du cotonnier Bt a fait diminuer (mais pas totalement abandonner) l'usage de certaines classes d'insecticides ciblant les chenilles des capsules (essentiellement les pyréthriinoïdes et l'endosulfan). Cependant, il semble que l'utilisation des insecticides organophosphorés sur cotonnier Bt n'ait pas été réduite. Il semble même qu'une plus grande présence d'insectes piqueurs suceurs (pucerons, jassides et punaises) a été observée dans certaines zones d'Afrique du Sud et du Burkina Faso.

Comme des sommes importantes ont été investies par les sociétés semencières pour aboutir à la diffusion des variétés actuelles, une répercussion sur le consommateur ou le producteur se concrétise par l'application d'une redevance technologique (*technology fee*). Cette redevance est calculée différemment selon les pays et sur la base de différents critères.

L'augmentation de la part relative des semences dans le coût des intrants est élevée, la redevance technologique étant répercutée aux agriculteurs à travers le coût des semences. Ainsi, le renchérissement des semences accroît le risque financier de la production pour les producteurs à ressources financières limitées, car la dépense est consentie en début de saison et ne peut être ajustée en fonction de l'évolution de la campagne.

Une rentabilité très variable est observée dans le temps et entre les exploitations : en conditions climatiques et parasitaires normales, l'adoption du cotonnier Bt peut réduire les coûts de la protection phytosanitaire, malgré le poids de la redevance technologique. En revanche, lorsque la pression parasitaire liée aux chenilles de la capsule est réduite pour des raisons climatiques ou biotiques, la culture Bt ne permet pas de réaliser des économies sur la protection insecticide : le coût de la technologie Bt est alors souvent supérieur à celui de la protection conventionnelle. La rentabilité de la technologie Bt est fortement dépendante de l'importance des pulvérisations chimiques réalisées à l'encontre des chenilles en culture conventionnelle.

La rentabilité de la production cotonnière dépend de la stabilité institutionnelle de la filière. Ainsi, en situation d'instabilité, la performance



d'une introduction technologique s'en trouve réduite et peut même avoir un effet défavorable au point d'accentuer une instabilité institutionnelle existant préalablement.

L'introduction d'une semence à haut potentiel génétique, occasionnant une redevance technologique, requiert de surcroît une organisation efficace permettant de garantir des qualités germinatives optimales (graines délintées, triées, ayant un pouvoir germinatif de plus de 85 % et enrobées d'un fongicide pour une bonne conservation et une bonne levée). L'introduction des semences transgéniques demande donc une réorganisation parfois coûteuse du système de distribution des semences.

Une utilisation efficace et durable des cotons génétiquement modifiés passe par la cohabitation avec les cultivars non génétiquement modifiés, dans le respect de la prise de décision des producteurs en fonction des conditions externes et internes à leurs exploitations.

Un encadrement et des recommandations en matière de lutte phytosanitaire sont primordiaux et ils devront être effectifs avant toute introduction d'une amélioration de l'itinéraire technique au moyen d'intrants tels que les engrais.

Des résistances au principe actif sont apparues au cours de la dernière décennie. La durabilité de la technologie Bt repose sur la mise en œuvre des stratégies de gestion de la résistance à ces toxines (parcelles refuges, variétés Bt multigènes, etc.).

▮ Comment décider de l'intérêt de l'utilisation d'OGM

L'opportunité de l'adoption de cotonnier génétiquement modifié doit être évaluée sur l'avantage différentiel à long terme qu'il représente par rapport à un cotonnier conventionnel en matière de production, d'innocuité pour l'environnement et la santé, et de bénéfices socio-économiques.

Avant de se lancer dans l'introduction d'une nouvelle technologie, il convient d'en analyser les bénéfices et inconvénients potentiels :

- quelles sont les caractéristiques de la technologie (type de gènes, de marqueur, de promoteur) ?
- quelle est sa portée géographique et technique (agrosystème) ?
- quelle est l'efficacité de la technologie sur la cible ?
- existe-t-il des freins à l'utilisation de cette technologie ?
- quel est l'impact de la technologie sur les pratiques agricoles ?
- quel sera l'impact (technique, économique et social) sur les bénéficiaires ?

- quel retour financier le cotonnier Bt procure-t-il au producteur ?
- quelles modifications sont engendrées dans l'application des itinéraires techniques et dans les pratiques culturales paysannes ?
- si des changements apparaissent, sont-ils bénéfiques pour la culture, pour l'exploitation et pour le producteur ?
- la culture des cotons génétiquement modifiés entraîne-t-elle une amélioration des rendements ?

Les réponses aux questions précédentes doivent être apportées sur la base d'indicateurs mesurables et vérifiables relevés dans le cadre d'études comparatives agronomiques et variétales.

Voici quelques exemples d'indicateurs :

- le rendement (moyenne et variabilité) en fonction des zones agro-écologiques ;
- le nombre de pulvérisations insecticides ciblant les chenilles sensibles aux toxines Bt ;
- le nombre de pulvérisations d'autres insecticides ;
- l'efficacité et le respect des programmes de lutte phytosanitaire contre les ravageurs non ciblés par les toxines Bt ;
- l'importance et la qualité du réseau de distribution d'intrants (insecticides et engrais) ainsi que leur prix ;
- l'importance et la qualité des structures d'encadrement agricole ;
- l'existence d'une filière cotonnière forte reposant sur des bases institutionnelles saines ;
- la qualité des productions (moyennes, variabilités).

Ainsi, les changements nécessaires à la mise en place de la nouvelle technologie devront tenir compte de différents aspects : les pratiques agricoles, l'implication des communautés locales, la possibilité d'un appui gouvernemental, les structures de production, etc. Les effets négatifs ou non intentionnels de ces options devront également être analysés avant toute formulation de recommandations. Ces changements requièrent en outre des compétences spécifiques et complémentaires à chaque niveau de la filière pour décider de l'adoption des cotonniers génétiquement modifiés (tableau 6.1).

Proposition d'une grille de décision

Pour guider l'adoption de cotonniers génétiquement modifiés, nous avons regroupé et ordonné les informations agronomiques, technologiques, environnementales, économiques, et réglementaires dans un arbre de décision (figure 6.2). En répondant aux questions



mentionnées, sur la base de relevés fiables et reproductibles, l'arbre de décision oriente vers la non-utilisation des cotonniers génétiquement modifiés, ou une nouvelle acquisition de connaissances avant d'y

Tableau 6.1. Propositions de compétences requises aux différents niveaux dans la filière pour planter les cotons génétiquement modifiés.

Niveau dans la filière	Compétence / amélioration
Société civile	Alphabétisation Connaissances techniques
Exploitation agricole	Maîtrise des techniques agricoles, acquisition d'équipements et de bœufs de trait Abandon de la culture manuelle
Encadrement et formation	Encadrement technique performant (écoles, encadrement au champ) Intégration des notions de base relatives à l'action des transgènes Formation sur la lutte intégrée contre les ravageurs
Recherche	Développement d'itinéraires techniques adaptés aux cultivars Bt Poursuite de la création variétale classique pour la diffusion de cultivars adaptés et performants sur le plan agronomique Évaluation systématique des flux de gènes au niveau du terroir pour calculer les distances minimales d'isolement nécessaires dans l'établissement des normes de coexistence Mesure de résistance aux principes actifs
Sociétés cotonnières et compagnies de développement	Mise en place d'un système de production semencière de qualité Meilleure accessibilité au crédit de campagne pour l'achat des semences et autres intrants Organisation saine, auditable et respectant les cadres réglementaires relatifs à la propriété industrielle et à la biosécurité de la production semencière selon des critères techniques mesurables (germination, pureté variétale)
Législation et réglementation	Mise en place d'un cadre réglementaire de biosécurité Existence de normes de coexistence des filières et mise en place d'un système de traçabilité efficient pour le coton biologique Création d'un réseau de biovigilance et de suivi des bonnes pratiques agricoles et industrielles Mise en place de stratégies de gestion de la résistance des insectes ciblés

parvenir, ou directement vers l'utilisation de cotonniers génétiquement modifiés. Dans tous ces cas, l'objectif est de satisfaire aux meilleures conditions d'efficacité et de sécurité environnementale, sanitaire et économique des acteurs. Une liste de sources d'informations est donnée dans l'encadré 6.1 afin de permettre au lecteur de se renseigner sur les différentes expériences d'adoption de cette technologie.

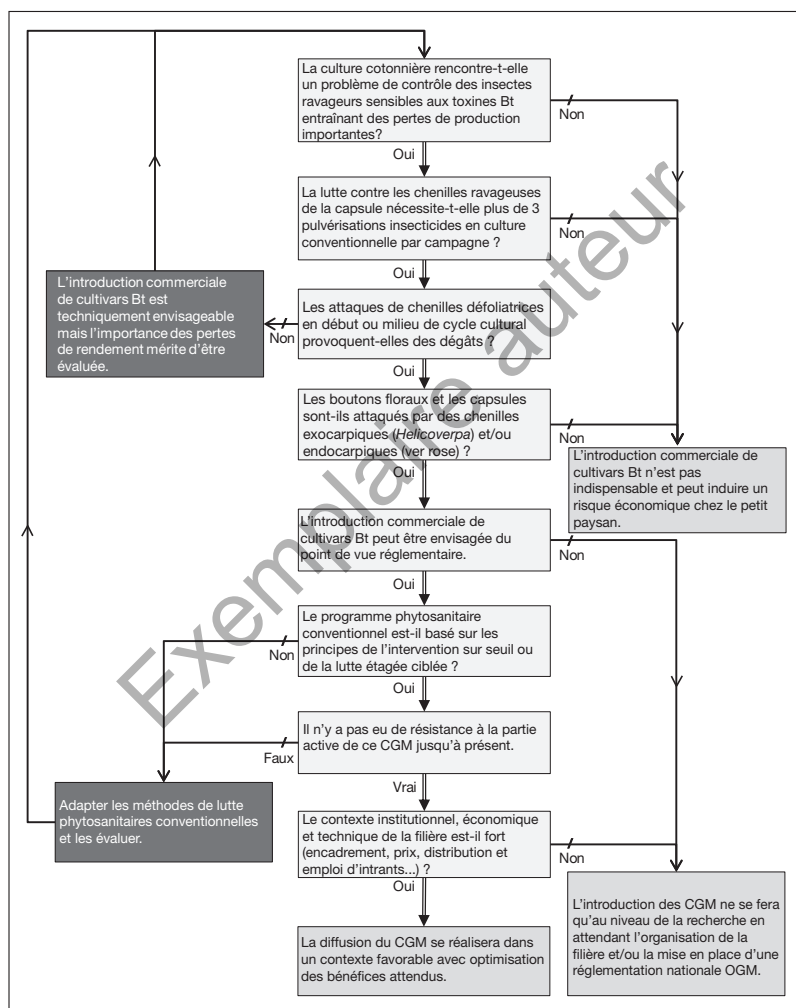


Figure 6.2.

Exemple de grille de décision pour l'adoption du caractère Bt dans les cotons génétiquement modifiés.



Encadré 6.1. Brève revue des expériences internationales d'introduction de cotonniers transgéniques

Le coton transgénique n'est pas une panacée mais un composant facultatif de l'itinéraire technique. Lorsqu'il est cultivé, son succès dépend de la maîtrise de l'ensemble des pratiques culturales et du choix judicieux des facteurs institutionnels et socio-économiques qui accompagnent la mise en œuvre de la nouvelle technologie.

En Inde

En Inde, avant l'introduction du coton Bt (Cry1Ac) en 2002, les rendements étaient de l'ordre de 300 kg/ha. La pression des ravageurs était forte obligeant les cultivateurs à réaliser plus de 20 traitements insecticides par saison. Une première hausse sensible (+ 60 %) des rendements apparut entre 2002 et 2004, et le lien de cause à effet avec la récente introduction du coton Bt fut facilement tiré par de nombreux chercheurs. Cependant, à cette époque le taux d'adoption du cotonnier Bt était très faible (1 à 6 %) et ne pouvait pas expliquer l'augmentation de la production. D'autres facteurs indépendants ont contribué à l'envolée des rendements : l'intensification de l'irrigation et de la fertilisation, un meilleur régime des pluies, une moindre pression parasitaire... Un second saut de rendement, furtif et de moindre amplitude (+ 15 %), a été observé en 2006, avant une chute régulière des rendements (- 11 %) à partir de 2007, alors que le taux d'adoption des cotonniers Bt (Cry1Ac et Cry1Ac + Cry2Ab) atteignait 98 %.

Ce succès mitigé trouve son explication dans plusieurs facteurs limitant :

- l'existence d'un grand nombre de variétés hybrides ou non (880), contenant plusieurs types de transgènes, commercialisées dans des réseaux de distribution peu contrôlés (prix et qualité) ;
- l'absence de crédit de campagne pour l'achat d'intrants (dont les semences) ;
- les incertitudes quant à l'efficacité des transgènes contenus dans les hybrides et leur impact sur l'acquisition de résistances aux toxines chez les insectes ciblés.

Des facteurs d'amélioration sont proposés notamment par Hofs et Berti (2006) : meilleure gestion de la résistance aux toxines, meilleure gestion de la lutte intégrée contre les ravageurs, octroi de crédit de campagne, meilleur encadrement agricole.

En Afrique du Sud

L'exemple de l'Afrique du Sud illustre la grande variabilité des performances des cotonniers Bt. Initialement (entre 1998 et 2002), la recherche a vanté le succès de l'adoption des cotonniers Bt par les petits paysans des Makhathini Flats. Peu après leur introduction, le retrait des appuis institutionnels (crédit

Encadré 6.1. (suite)

de campagne et encadrement agricole) octroyé aux paysans a précipité la petite agriculture familiale à la banqueroute. Une mauvaise adaptation aux conditions agro-écologiques est également une cause partielle d'une durabilité défailante. Ne restent aujourd'hui que quelques riches paysans bénéficiant de revenus mixtes comme utilisateurs de ces semences. En culture pluviale, les variations climatiques engendrent de fortes fluctuations de rendement. Des pratiques culturales hétérogènes et des conditions environnementales variables induisent de grandes disparités de rendement et de revenu chez les paysans : certains gagnent et d'autres, généralement les plus pauvres, perdent.

Facteurs d'amélioration : mise en place de structures d'encadrement agricole, accès au crédit, variétés adaptées aux conditions agro-écologiques.

Au Burkina Faso

Le Burkina Faso a produit plus de 600 000 tonnes de coton en 2013, dont 50 % issus de la culture transgénique. Grâce à des facilités d'accès au crédit et à un encadrement agricole relativement performant, une majorité de petits paysans peuvent encore acheter les semences Bt (Bollgard II de Monsanto) malgré leur coût élevé. Avec une production en constante progression, l'impact du cotonnier Bt reste relatif en comparaison aux résultats scientifiques présentés par Monsanto : l'augmentation du rendement n'est que de 15 % en moyenne.

Une série de freins à la bonne performance des cotonniers Bt a été identifiée :

- disparité de la pression parasitaire ;
- non-respect des bonnes pratiques culturales ;
- émergence de complexes de ravageurs piqueurs et piqueurs suceurs non ciblés par les toxines Bt et favorisés par la réduction des applications d'insecticides.

Facteurs d'amélioration : réduction du prix des semences et amélioration de leur qualité, réduction des délais de paiement aux planteurs, programmes de lutte phytosanitaire mieux adaptés.



7. Transformation et utilisation

Jean-Paul Gourlot et Bruno Bachelier

Du champ à l'usine

Dans cette section, nous détaillons le circuit habituel du coton-graine, depuis le champ, à travers sa récolte, son transport, sa transformation conduisant à la fabrication des balles de fibres, et leurs livraisons au port d'embarquement, ainsi que la production d'huile et de ses coproduits à partir de la graine. Le coton étant une fibre textile, nous décrivons succinctement la filière textile afin que le lecteur perçoive l'importance de bonnes pratiques dès la récolte pour préserver les caractéristiques du coton-graine, puis des fibres, à la base des produits textiles.

S'il n'y avait qu'une idée à retenir, ce serait la suivante : « la qualité des fibres de coton est optimale à l'ouverture de la capsule. Toutes les étapes ultérieures ne font au mieux que la conserver, dans la plupart des cas, elles contribuent à la dégrader. Cette dégradation est liée à la manipulation du coton-graine et des fibres et/ou à leur contamination ».

Les fibres de coton prises individuellement sont fragiles, car elles se rompent sous une charge d'à peine quelques grammes. Chaque manipulation rompt des fibres, et ce d'autant plus que la manipulation est peu soignée. Cela a des conséquences négatives sur la qualité de ces fibres, notamment en diminuant leur longueur, une des caractéristiques qui permet de définir leur prix de vente.

▮ La récolte

La récolte consiste à collecter et à regrouper le coton-graine parvenu à maturité en évitant de le contaminer par d'autres éléments non désirés qui constituent des pollutions.

Le coton-graine parvenu à maturité est celui contenu dans les capsules ouvertes depuis assez de temps pour permettre le séchage du coton-graine, mais pas trop longtemps pour éviter d'une part, les pollutions

telles que dépôts de poussière ou de terre, dépôts de miellats d'insectes, etc., d'autre part, une exposition prolongée au soleil, dont les rayons ultra-violet modifient la cellulose des fibres, provoquant notamment une perte de leur résistance et une dégradation de leurs caractéristiques colorimétriques.

Le coton-graine est généralement collecté dans des sacs de récolte. Pour éviter toute pollution du coton-graine, il est recommandé que les sacs de récolte soient constitués en une matière non effilochable et ne créant pas de perturbation dans la filière textile, aussi, les sacs en coton semblent les plus appropriés. Dans tous les cas, il faut éviter les sacs en polypropylène dont les fibres peuvent se mélanger aux fibres de coton sans qu'il soit possible de les distinguer, les fibres étrangères ne peuvent alors plus être séparées. Elles ne seront détectées qu'après teinture des étoffes dont la qualité sera alors dépréciée.

Les éléments non désirés dans le coton-graine sont des contaminations relatives à tous les éléments autres que le coton-graine et peuvent être classés en deux grandes catégories : les contaminations internes, en provenance des cotonniers, et les contaminations externes.

La première catégorie, les contaminations internes, concerne des parties du cotonnier comme des carpelles, des fragments de feuilles ou de tiges, etc. Bien que ces éléments, quand ils sont grossiers, puissent être éliminés relativement facilement à l'usine d'égrenage, tout travail supplémentaire de nettoyage du coton-graine ou des fibres conduit à une moindre qualité de fibres. À ces pollutions en provenance de la plante elle-même, s'ajoutent les miellats d'insectes qui causent d'énormes problèmes de transformation dans le secteur textile. Le meilleur moyen de les éviter est de récolter régulièrement les capsules ouvertes pour ne pas les laisser accessibles aux insectes qui se développent en haut des plants de cotonnier.

La seconde catégorie, ou pollutions externes, concerne des éléments tels que sacs plastiques, morceaux arrachés des bâches de récolte, surtout si celles-ci sont en polypropylène tressé, les pierres, la terre et la poussière, et tous les éléments autres que le coton-graine, comme les mauvaises herbes (par exemple, les graines d'*Acanthospermum hispidum* ou celles de *Pennisetum* spp). Il est très difficile d'éliminer toutes ces pollutions à l'usine d'égrenage, à part la poussière et les pierres, mais avec un coût et un impact sur la qualité des fibres. Toutes ces pollutions se retrouvent donc brisées, fractionnées et réparties en pièces plus petites, et par conséquent plus difficiles à détecter et à nettoyer.



Tout le coton-graine récolté doit être mis à sécher quelques heures sur place, notamment s'il y a de la rosée. Puis il est transporté à la ferme pour y être stocké jusqu'à la prochaine organisation du marché d'achat au village. On profite généralement de cette période pour trier manuellement et visuellement la récolte, en séparant le coton-graine des autres éléments : quartiers d'orange qui correspondent au coton-graine issu de loges de la capsule pas arrivée à maturité du fait d'un stress biotique (attaques d'insectes ou de maladies) ou abiotique (déficit hydrique ou minéral), pierres, déchets divers, etc. Pour éviter sa dégradation, le coton-graine doit être stocké dans un milieu sec, aéré et à l'abri de toute pollution additionnelle qui pourrait dégrader sa qualité et sa valeur marchande.

▮ Le marché villageois

Le coton-graine, en général trié en deux voire trois catégories de qualité (premier, deuxième et troisième choix) selon les pays, est transporté vers le marché villageois. Ce marché doit être accessible aux camions et au préalable être nettoyé soigneusement pour éviter les contaminations. À l'arrivée des équipes d'achat, la production de chaque agriculteur est pesée et évaluée pour sa qualité au regard d'établissements de coton-graine établis périodiquement en partenariat entre les représentants des producteurs, des égreneurs et des classeurs. Toutes les informations, comme les références des ballots pesés, leur poids et leur origine, la variété et la génération de multiplication, et la qualité du coton-graine, sont enregistrées et cosignées par le producteur et le responsable du marché d'achat.

Le coton-graine de premier choix est chargé, damé et transporté en premier vers l'usine d'égrenage. Il est impératif de séparer les différentes qualités de coton-graine si elles doivent être chargées dans le même camion. Chaque caisse ou camion dispose d'un écriteau portant toutes les informations relatives au coton-graine (village, marché d'achat, variété et génération de multiplication de la variété, poids approximatif du coton-graine chargé et sa catégorie commerciale) afin d'en informer le gestionnaire de l'usine. Le coton-graine des différents marchés d'achat se trouvant dans le bassin d'approvisionnement d'une usine d'égrenage est transporté vers celle-ci par camion (figure 7.1). La gestion du coton-graine depuis la ferme jusqu'à l'usine d'égrenage en passant par le marché d'achat joue un rôle essentiel sur la qualité moyenne des fibres et sur son homogénéité à l'intérieur d'une balle et entre les balles de

fibres. En effet, toute hétérogénéité induite par un mélange de différentes catégories de qualité de coton-graine se traduit directement par une hétérogénéité de la qualité des fibres sur de nombreuses balles, sans compter l'impact négatif d'un sur-nettoyage des fibres.

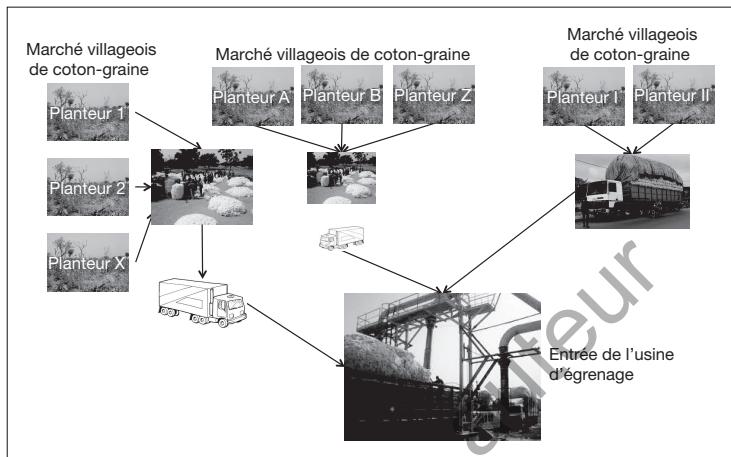


Figure 7.1.

Organisation de la collecte du coton-graine et de son usinage.

(© Gourlot / Cirad)

Transport du marché à l'usine

Le coton-graine, séparé par qualité, est chargé dans des camions et des remorques. Ils doivent être bâchés de manière à éviter des pertes et des contaminations lors du transport vers l'usine d'égrenage. En plus des marquages mentionnés ci-dessus, des bordereaux de chargement accompagnent le coton-graine jusqu'à l'usine où l'ensemble est dûment réceptionné. En respectant toutes les conditions de propreté de la récolte édictées ci-dessus, le coton africain a gagné dans le passé une «réputation de propreté liée à la récolte manuelle», qui ne se maintiendra que si les efforts mentionnés sont poursuivis. Cela est d'autant plus important que certains producteurs concurrents qui récoltent à la machine parviennent peu à peu à faire passer l'idée que le coton récolté à la machine est moins contaminé que le coton récolté à la main. Pour répondre à ces attentes et à ces questions, un projet sur la lutte contre la contamination des cotons (*Prevention of Seed Cotton Contamination in West Africa -CFC/ICAC 38*) est engagé pour la défense de l'image du coton récolté à la main en Afrique de l'Ouest.



Tout manquement dans le suivi du flux de coton-graine depuis la parcelle cultivée jusqu'à l'usine d'égrenage a des conséquences sur la quantité et la qualité produites. Les différentes catégories de coton-graine sont transportées séparément. Il est possible et nécessaire d'ajuster les étapes de nettoyage de l'usine d'égrenage en fonction de la propreté de cette matière première, quitte à ajuster les réglages de l'usine selon le camion. Si des lots de coton-graine de qualités diverses sont mélangés au moment du chargement des camions par exemple, l'usine doit être réglée de manière à nettoyer le lot le plus contaminé en impuretés. Dans ces conditions, le lot coton-graine le plus propre subit des étapes de nettoyage supplémentaires qui dégradent la qualité de ses fibres, alors que ces étapes n'étaient pas nécessaires; les étapes de nettoyage non nécessaires conduisent à des dépenses de fonctionnement supplémentaires de l'usine d'égrenage et à une dégradation de la qualité, donc à une baisse de la prime à la qualité pour le groupement de producteurs.

De l'usine au port

▮ Stockage du coton-graine en usine

À l'arrivée dans l'usine d'égrenage, les camions sont pesés. Tous les moyens de pesage (basculés, pont-basculé...) doivent être vérifiés régulièrement. Le coton-graine peut être directement égrené ou stocké dans un silo sec, propre et aéré pour éviter une fermentation qui pourrait dégrader la qualité des graines et des fibres. Chaque catégorie de qualité du coton-graine devrait disposer de silos séparés pour éviter les mélanges, et ainsi permettre une gestion de la production à l'égrenage permettant d'appliquer un jeu de réglages des machines à chaque catégorie de qualité.

▮ Usine d'égrenage

Quand la quantité de coton-graine d'une catégorie donnée est jugée suffisante pour être égrenée, elle est soit chargée sur un tapis roulant (le tapis module) soit aspirée au travers d'un tube (le télescope) vers les différentes étapes de nettoyage de l'usine.

Nettoyage du coton-graine

Les matières indésirables sont éliminées par taille décroissante : d'abord les pierres, puis les carpelles et capsules, puis les quartiers

d'orange, les débris végétaux, le sable et les poussières, etc. (figure 7.2). Selon les régions de production, il peut être nécessaire de sécher au préalable le coton-graine pour faciliter son nettoyage.

Égrenage

Le coton-graine est transporté de manière pneumatique d'une étape à la suivante. Afin de réduire les dommages à la fibre, le coton-graine est généralement humidifié (par de la vapeur d'eau) juste avant de parvenir à l'égreneuse. Le type d'égreneuse le plus répandu en Afrique subsaharienne est l'égreneuse à scies; les égreneuses à rouleau sont plutôt destinées à la production de fibres longues de type *G. barbadense*. Une usine d'égrenage possède généralement jusqu'à cinq ou six égreneuses à scies travaillant en parallèle à partir d'une seule alimentation par tapis module ou par télescope. Cette égreneuse comportant de 100 à 200 scies sépare les fibres des graines en préservant au mieux les unes et les autres. Selon les modèles d'égreneuse et les vitesses de rotation recommandées par les constructeurs, la capacité d'égrenage varie de 2 à 20 kg de fibre / scie / heure.

Nettoyage des fibres et pressage des balles

Après l'égrenage proprement dit se succèdent une ou plusieurs étapes de nettoyage des fibres. Elles sont ensuite envoyées vers la presse qui les compacte en couches successives sous forme de balles au format généralement standardisé d'environ 225 kg pour faciliter les transports : soit approximativement en centimètres, $L = 130$; $l = 51$, $H = 76$.

L'emballage des balles constitue un point important. Comme pour les sacs de récolte de coton-graine, les emballages en polypropylène tressés sont à proscrire car ils risquent de contaminer les fibres de coton. On recommande les emballages en coton ou en polyéthylène.

Une usine d'égrenage équipée de quatre égreneuses à haute capacité peut produire jusqu'à 60 balles d'environ 225 kg de fibres par heure de fonctionnement. Sur chaque balle sont portés des éléments d'identification (pays, usine, année, variété, poids...). Ces informations sont de plus en plus souvent portées sur une étiquette munie d'un code barre, en liaison avec une gestion informatisée de la production. L'organisation de l'usine, le rôle de chacun, le parfait entretien et fonctionnement de tous ses équipements jouent des rôles clés dans la rentabilité financière de l'usine, en partie basée sur la préservation de la qualité des fibres qu'elle produit.



Importance de la maîtrise de la teneur en eau du coton-graine et des fibres

Comme indiqué précédemment, de la même manière qu'il peut être nécessaire de sécher le coton-graine pour le nettoyer, il est généralement nécessaire de l'humidifier après son nettoyage pour faciliter l'étape d'égrenage et limiter ainsi les dégradations des fibres et des graines. En effet, pour limiter la rupture des fibres au moment de l'égrenage, il est nécessaire qu'elles possèdent une teneur en eau (poids pour poids) comprise entre 6,5 % et 8,0 %. De plus, le commerce du coton est basé sur une teneur en eau légale des fibres de 8,5 %, valeur que l'égreneur a tout intérêt à approcher en humidifiant les fibres au moment du pressage des balles. En outre, cette humidification facilite le pressage en limitant l'électricité statique des fibres.

Les balles produites sont placées dans une zone de stockage de l'usine pendant le temps nécessaire à la caractérisation de la qualité des fibres et à leur regroupement par qualité homogène au sein de lots de balles. Il faut également s'assurer qu'aucun feu ne couve dans une balle.

Évaluation de la qualité des fibres

Pour évaluer la qualité des fibres, un à deux échantillons de fibres sont prélevés au moment où la balle est formée et emballée. Cet échantillon porte le même numéro que la balle dont il est issu. Les échantillons de la production sont regroupés puis expédiés dans un laboratoire de caractérisation (laboratoire de classement) qui évalue les caractéristiques importantes des fibres, échantillon par échantillon.

Le classement de la fibre

Le classement ou classification commerciale de la fibre regroupe en fait deux opérations disjointes mais complémentaires :

- une évaluation ou une caractérisation des fibres effectuée dans un laboratoire ;
- une affectation des balles dans des lots correspondant à «une classe» de qualité homogène. En outre, malgré leur coût, ces opérations sont rentables par le bénéfice que les compagnies cotonnières tirent à vendre des fibres de meilleure qualité et/ou à conserver leurs parts de marché en périodes difficiles.

Traditionnellement en Afrique subsaharienne, certaines caractéristiques des fibres de coton sont évaluées manuellement et visuellement

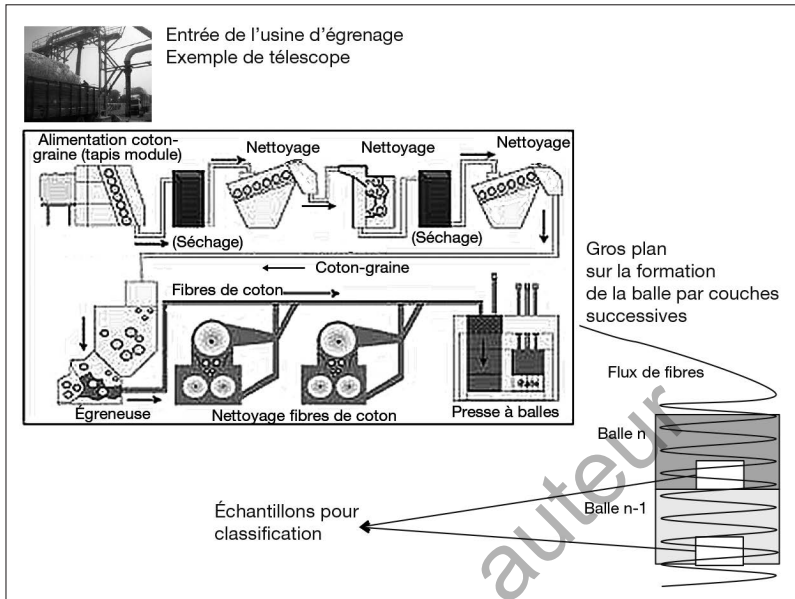


Figure 7.2.

Exemple de combinaison d'équipements d'une usine d'égrenage.

(© Gourlot / Cirad)

par des classeurs, professionnels de la filière coton généralement rattachés à un organisme central associatif, coopératif ou public. Cet organisme, le laboratoire de classement, doit rendre une évaluation impartiale, juste, précise et sans dérive sur les caractéristiques des échantillons de fibres qui lui sont soumis.

Les caractéristiques évaluées sont :

- le grade, estimé visuellement en comparaison à des matières de référence constituées par les types de vente. Ce critère est composé de la couleur des fibres, de leur taux de charge en matières étrangères, et de leur « caractère » ;
- la longueur commerciale des fibres, estimée à partir de la composition d'une barbe de fibres dont les classeurs estiment visuellement la longueur (par classes d'environ 0,5 mm).

Depuis les années 1990-2000, une caractérisation instrumentale des fibres est encouragée afin de mesurer davantage de caractéristiques dont les professionnels de la filière textile, les clients de la filière coton, ont besoin pour régler leurs équipements, et donc pour effectuer leurs achats de matière première. Les appareils utilisés, chaîne de mesure



intégrée (CMI) ou *Standardized Instrument Testing for Cotton* (SITC), permettent au moins la mesure instrumentale de :

- la couleur du coton mesurée sur un colorimètre et exprimée selon deux indicateurs (la réflectance et le degré de jaune);
- le taux de charge des fibres effectué par analyse d'image et exprimé par quatre critères (*Trash count*, *Trash area*, *Leaf grade*, *Trash grade*);
- l'indice micronaire obtenu par une mesure de porosité à l'air qui donne des indications sur la section des fibres et leur forme;
- la longueur des fibres et leur distribution mesurées par un capteur optique exprimé par trois critères (la longueur moyenne ou ML, la longueur commerciale ou UHML, un indice d'uniformité ou UI);
- la dynamométrie des fibres à l'aide d'un dynamomètre intégré à l'appareil avec un critère reconnu (*Strength*, une mesure de la résistance à la rupture des fibres).

Des réglementations et des recommandations internationales spécifiques existent pour régir le fonctionnement des laboratoires et leur contrôle et peuvent être consultées pour de plus amples informations¹. Dans les grandes lignes, le cadre normatif de la réalisation des caractérisations impose que les laboratoires disposent de personnels formés, d'enceintes contrôlées en température et en humidité à des valeurs justes, précises et constantes dans le temps, qu'ils utilisent des matières de référence spécifiques pour l'étalonnage de leurs équipements, et qu'ils soient contrôlés par des tests inter-laboratoires et quelquefois par des auditeurs externes².

▮ Regroupements des balles en lots

Pour ce qui concerne l'établissement d'une proposition de catégorisation et de regroupement des balles produites par qualité homogène, les résultats issus des évaluations et/ou des caractérisations sont utilisés. Deux approches globales peuvent être mises en œuvre :

- soit le «vendeur» définit les limites de qualité de chacune des classes de qualité et les balles sont regroupées en fonction de cette définition. Les clients achètent alors en fonction des classes constituées par le «vendeur»;
- soit en fonction des demandes spécifiques des clients, le «vendeur» constitue des lots de balles en fonction de la connaissance qu'il a de son stock.

1 http://csitc.org/index.php?lien1=/instrument_testing/public_documents_it

2 <http://csitc.org/>

Dans les deux cas, la connaissance de certaines ou de toutes les caractéristiques des fibres est nécessaire à la répartition des balles dans les classes de qualité. Ensuite, les balles sont regroupées en piles pour leur expédition.

Dans le cas d'un classement par évaluation manuelle et visuelle, il est d'usage de compléter le marquage des balles sur leur emballage avec des codes relatifs à la classe de qualité à laquelle elles appartiennent, avant de les répartir dans différentes piles.

Dans les deux cas également, le fait de constituer des classes de qualité nécessite de choisir dans quelle pile sera rangée la prochaine balle ou classe de balle, au risque de commettre une erreur soit à cause de l'imprécision des résultats (d'où l'importance de l'excellence des performances attendues du laboratoire de classement), soit à cause de l'imprécision de la limite entre deux classes qui permet une certaine souplesse d'appréciation. Selon les choix du vendeur, cette erreur peut être bénéfique au vendeur ou aux acheteurs, sachant que des valeurs marchandes spécifiques sont assorties aux classes de qualité définies ou proposées par le client via le service commercial de la compagnie.

Chacune des deux approches a des avantages et des inconvénients. Dans les deux cas, certaines classes de qualité peuvent ne plus être approvisionnées en fin de campagne, et des substitutions de classes ou des négociations avec les clients peuvent alors être nécessaires.

▮ Transport des balles

Dans les filières cotonnières d'Afrique subsaharienne, ce sont généralement des compagnies privées de transport qui acheminent les balles depuis les usines d'égrenage jusqu'aux ports pour y être embarquées vers leur destination finale. Afin d'éviter toute contamination des balles par des matières étrangères, il est impératif de manipuler les balles avec précaution afin de ne pas détériorer leur emballage. Pour la même raison, il est important que les camions soient bâchés et que les mêmes attentions soient apportées à chaque transbordement des balles jusqu'à l'arrivée à la filature.

Point particulier sur la trituration de la graine et la valorisation des coproduits

À l'issue de l'égrenage, alors que les fibres sont destinées au secteur textile, les graines sont principalement utilisées dans les secteurs



de l'alimentation humaine et animale. Pour cela, elles doivent être stockées dans certaines conditions (teneur en eau inférieure à 5% poids pour poids, température idéale de stockage inférieure à 20°C) qui permettent leur conservation et leur utilisation, surtout si une alimentation humaine est envisagée après diverses étapes de transformation (figure 7.3).

Les graines sont constituées d'une coque (40 à 45% du poids de la graine), généralement recouverte de duvet fibreux, renfermant une amande. Les graines peuvent être utilisées comme semences pour l'année suivante, ou comme matière première à part entière après diverses étapes de transformation.

La figure 7.3 illustre les différentes opérations, produits et usages possibles des graines de coton. Différentes opérations mécaniques, chimiques ou autres, utilisées seules ou en combinaison sont nécessaires pour tirer bénéfice des graines de coton. Les coproduits du cotonnier sont donc variés et leurs valorisations couvrent une large palette, même si très peu de données sont disponibles sur leur importance.

Rembourrages, textiles grossiers et papier à partir des linters. Cette utilisation n'est viable que si les bénéfices de l'utilisation de linters dépassent les coûts économiques et écologiques du délintage.

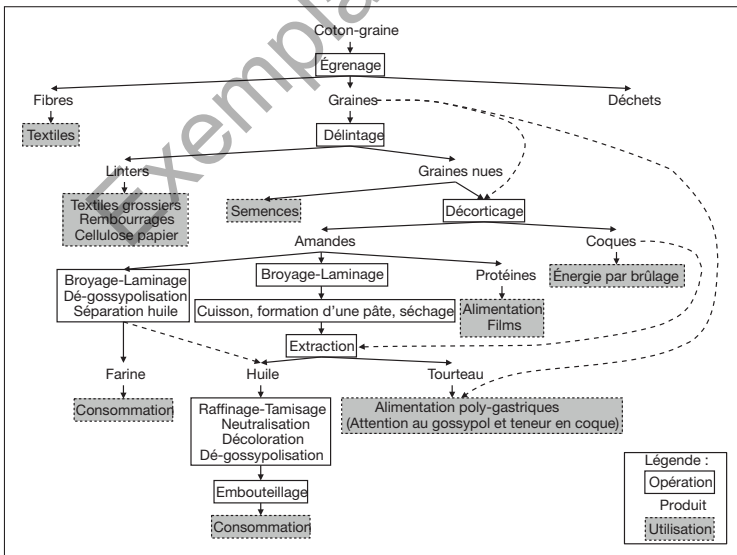


Figure 7.3.

Opérations, produits et utilisations des graines de coton.

Amélioration de l'extraction d'huile par ajout de coques dans les graines. Cette utilisation est fréquente dans les huileries. Les coques peuvent également être brûlées en chaudière pour fournir une source d'énergie d'appoint.

Protéines à partir des amandes dégossypolées par adsorption sur des terres spéciales et un traitement à la soude. Elles sont utilisables pour compenser des carences alimentaires ou pour construire des films biodégradables ou des pansements cutanés. L'emploi des protéines est assez courant comme complément alimentaire destiné aux populations dénutries. La transformation en films biodégradables ou médicaux en est au stade d'études au laboratoire, l'industrialisation de ces procédés se révélant complexe du fait de la grande variabilité des caractéristiques des amandes de coton en comparaison à d'autres sources de protéines.

Huile alimentaire de grande qualité (attention cependant à la teneur en gossypol, pigment toxique pour l'humain, et aux aflatoxines). Cette utilisation est fréquente dans les pays où la production locale d'huile est suffisante pour répondre à la demande, à moins de recourir à des importations de pays voisins.

Tourteaux, résidus obtenus après extraction de l'huile. Ces produits sont riches en protéines, en lignine et en cellulose, et fréquemment utilisés après complémentation (sels minéraux, vitamines) pour l'alimentation des ruminants (attention cependant à la teneur en gossypol et à la teneur en coques). Cette utilisation est fréquente dans beaucoup de pays, ainsi que sur les marchés internationaux.

La filature et la filière textile

▮ Filature

Nous avons vu que les balles étaient achetées par les filateurs ou leurs représentants en fonction de critères de qualité et de conditions commerciales spécifiques. Une fois les balles achetées, elles transitent par différents points avant de parvenir dans les filatures qui gèrent un stock généralement assez important de balles. En effet, une des clés du fonctionnement de la filature réside dans sa capacité à maintenir une production de qualité stable à partir des matières premières dont les caractéristiques peuvent recouvrir une variabilité importante. Pour y parvenir, la solution employée réside dans une homogénéisation intime des matières mises en mélange et à une gestion à moyen terme



(quelques semaines à quelques mois) des caractéristiques technologiques des matières premières, de manière à limiter toute variation rapide des caractéristiques des mélanges.

La filature est dite « type coton » ou « type fibres courtes », car elle peut y intégrer des fibres d'origine chimique de même gamme de longueur. Elle commence par une opération d'ouverture des balles qui consiste à prélever de petites quantités dans chacune des balles mises en mélange (jusqu'à une centaine), à débarrasser les fibres des matières étrangères tout en continuant à les mélanger, jusqu'à une ouverture et un nettoyage au cœur de la matière grâce à l'opération de cardage.

Ensuite, les fibres sont filées grâce à l'une des trois possibilités de transformation suivantes :

- dans le cycle cardé classique (figure 7.4), les fibres ainsi nettoyées sont agglomérées sous forme de rubans pour permettre leur transport, leur mélange et leur affinage grâce à des appareils de laminage (appelés étirages), jusqu'à parvenir au continu à filer qui donne la torsion finale aux fibres pour fabriquer les filés ;
- certaines étapes peuvent être ajoutées dans le cycle peigné classique, afin de retirer les fibres les plus courtes des rubans et ainsi fabriquer des filés plus fins et plus réguliers ;
- dans le cycle cardé *open-end*, ou à filature dite « à bouts libérés » à rotor, les rubans de fibres sont filés sans étape intermédiaire.

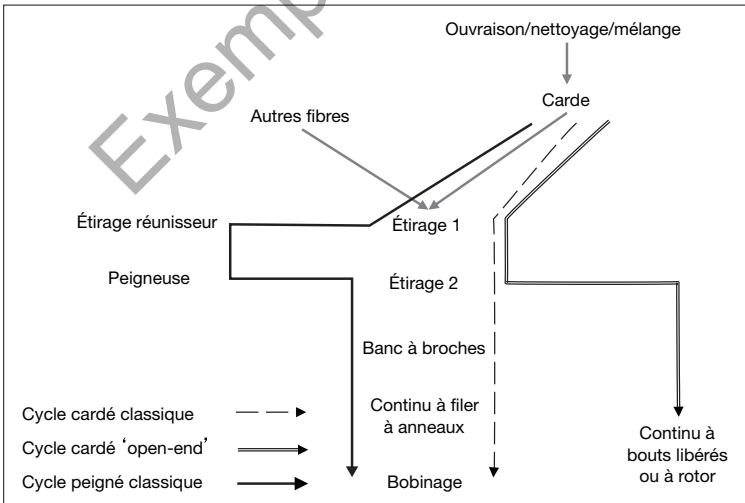


Figure 7.4.

Les différents cycles de filature, première étape de la filière textile.



Notons que les fibres chimiques sont souvent mises en mélange avec les fibres de coton à l'étape de l'étirage de manière à ce que les fibres soient correctement homogénéisées par les étapes suivantes avant de former les filés. Selon les produits textiles visés, différentes tailles des filés (ce que l'on appelle «le titre») peuvent être obtenues grâce aux réglages opérés sur les machines de production.

Différentes caractérisations des filés sont réalisées afin d'assurer la qualité des productions et la satisfaction des clients (figure 7.5).

▮ Étapes suivantes de la filière textile

La figure 7.6 illustre la filière coton jusqu'à la filière textile en y incluant les étapes majeures de production et de transformation. Cette représentation illustre les modes principaux de fabrication alors qu'une multitude de modes de fabrication existe pour parvenir à toute la diversité de produits textiles disponibles sur le marché.

La figure 7.6 illustre également les connexions entre toutes les étapes de la filière et l'interdépendance des critères de qualité à toutes les étapes et leurs conséquences sur toutes les suivantes.

Caractéristique	Appareillage
Régularité Pilosité Imperfections	Régularimètre
Ténacité Allongement	Dynamomètre
Titre Régularité de titre	Titreuse
Torsion	Torsiomètre

Figure 7.5.

Quelques caractéristiques mesurées sur les fils et les appareils utilisés.

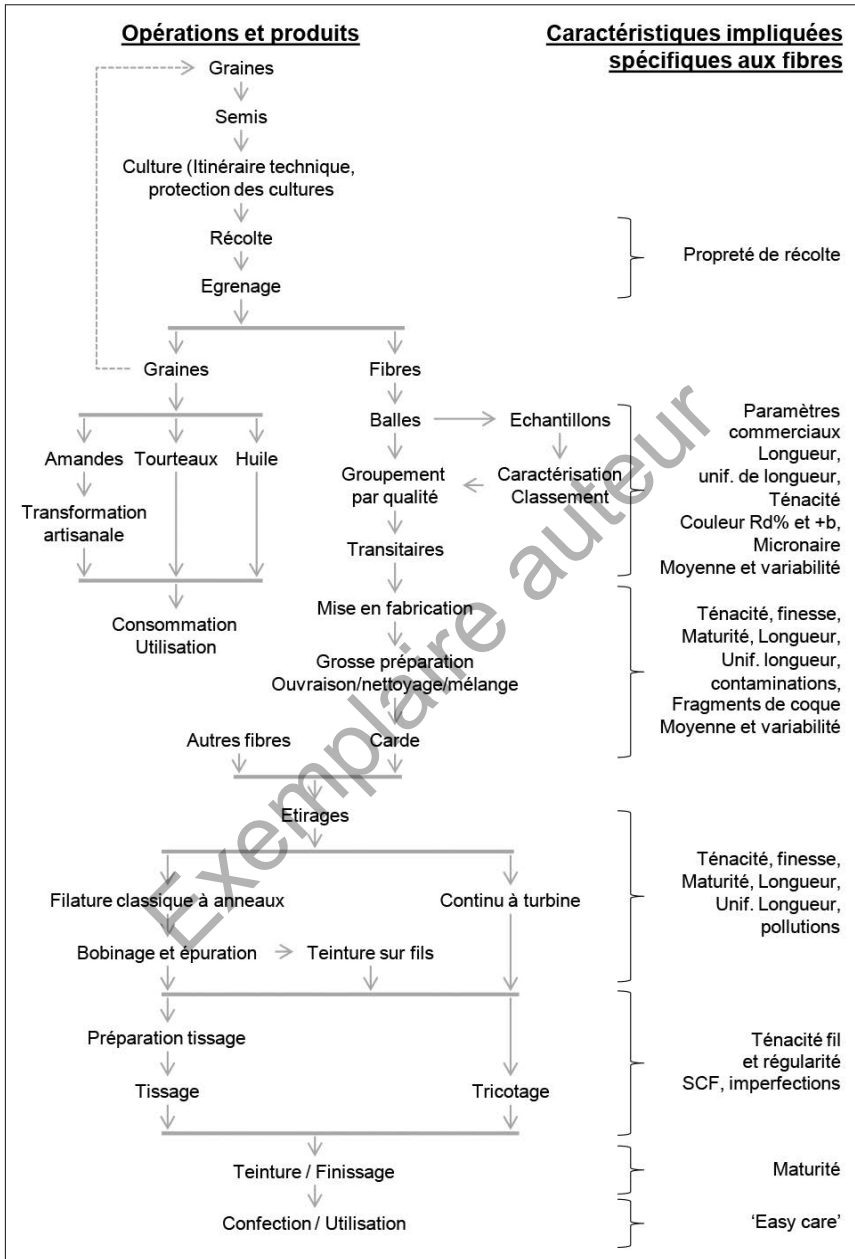


Figure 7.6.

Représentation schématique de la filière coton jusqu'aux consommateurs.

Deux méthodes principales existent pour fabriquer des étoffes à partir des fils : le tissage et le tricotage (figure 7.7). Dans la majeure partie des cas, ces étoffes sont ensuite teintes et des apprêts spécifiques leur sont appliqués pour leur conférer des propriétés particulières, avant de parvenir à l'étape de confection et la distribution des produits finis (voir planche couleur) (figure 7.8). De plus en plus de systèmes de recyclage des produits textiles, comme pour beaucoup d'autres produits, sont mis en place pour éviter les gaspillages.

La démarche d'écoconception des produits, applicable au secteur textile comme à d'autres, prend en compte les impacts environnementaux et sociaux potentiels liés à leur fabrication. Ainsi, pour satisfaire les clients du textile que nous sommes tous, chacun des partenaires et des participants individuels ou collectifs de ces filières doit prêter attention à sa contribution pour limiter tout éventuel impact négatif de son intervention, jusqu'au client final. L'Analyse de cycle de vie, présentée au chapitre 8, est une méthode d'évaluation de l'efficacité de ces démarches environnementales.

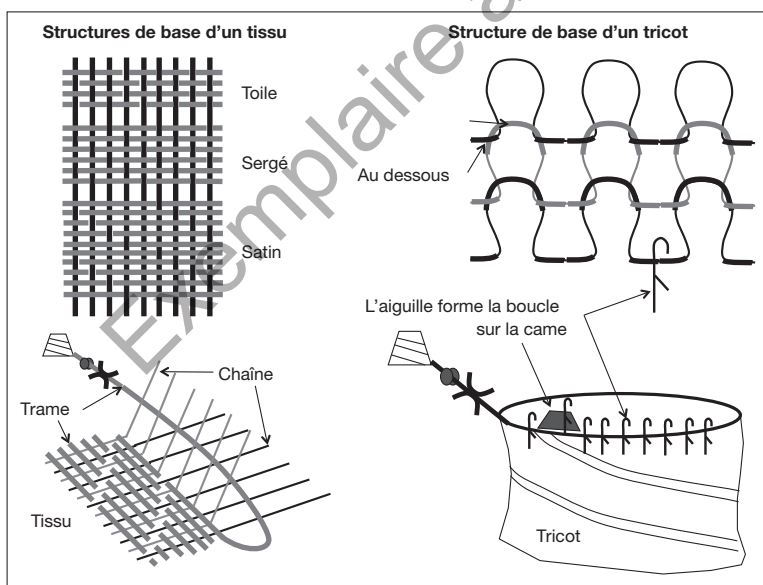


Figure 7.7.
Exemple de structure de tissu et de structure de tricot.

Exemplaire auteur



8. L'évaluation environnementale des systèmes cotonniers par Analyse de cycle de vie

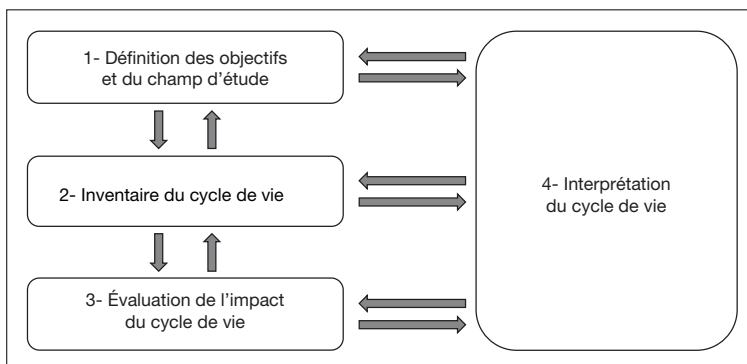
*Yannick Biard, Maéva Marcin, Alain Renou,
Claudine Basset-Mens et Jean-Paul Gourlot*

Les questions environnementales prennent une place de plus en plus importante dans les décisions politiques, économiques ou individuelles. La prise de conscience porte sur la nécessité de protéger l'environnement en prenant en compte les impacts associés aussi bien à la fabrication qu'à la consommation des produits, donc du champ au consommateur final pour les produits agricoles. Elle a favorisé la mise au point de méthodes d'évaluation des impacts.

L'Analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode d'évaluation des impacts environnementaux potentiels tout au long de la vie d'un produit, de l'acquisition des matières premières à sa production, son utilisation et à sa fin de vie (gestion des déchets – élimination ou recyclage) autrement dit «du berceau à la tombe». L'Analyse de cycle de vie prend en considération tous les attributs ou les aspects de l'environnement naturel, de la santé humaine et des ressources, et c'est la seule méthode qui lie les impacts environnementaux à la fonction du produit, du service ou du système. La normalisation de son cadre conceptuel (normes ISO 2006-14040 et ISO 2010-14044) associée aux nombreux apports scientifiques pour appuyer sa mise en œuvre opérationnelle et sa diffusion internationale en font aujourd'hui un outil d'analyse et d'aide à la décision performant et reconnu, y compris pour l'évaluation des produits agricoles.

Qu'est-ce que l'Analyse de cycle de vie ?

Selon la définition des deux normes ISO et de la Setac (Société de toxicologie et chimie environnementale), l'Analyse de cycle de vie est une méthode multicritère produisant un bilan quantifié pour un grand nombre d'impacts environnementaux. Elle se décline selon les quatre étapes illustrées dans la figure 8.1.

**Figure 8.1.**

Les quatre étapes classiques de l'Analyse de cycle de vie (ISO 14040 - 2006).

Étape 1

La définition des objectifs et du champ de l'étude expose la problématique, les applications envisagées et identifie les destinataires de l'étude. Au cours de cette étape sont définies les frontières du système étudié, l'unité fonctionnelle ainsi que les hypothèses retenues notamment en matière de règles d'allocation. L'unité fonctionnelle est « la performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une Analyse de cycle de vie » (ISO 2006-14040).

Étape 2

L'inventaire du cycle de vie correspond à la compilation de tous les flux quantifiés de matière et d'énergie entrants et sortants du système sur tout le cycle de vie, pour chaque processus élémentaire et en relation avec l'unité fonctionnelle choisie.

Étape 3

L'évaluation des impacts potentiels liés à ces entrants et sortants permet la conversion et l'agrégation des flux d'inventaire en différents indicateurs d'impacts environnementaux et/ou de dommages, à l'aide de facteurs de caractérisation.

Étape 4

L'interprétation consiste à analyser les résultats obtenus au regard des objectifs de l'étude, des données recueillies et des hypothèses retenues, notamment en lien avec les frontières du système et les modes d'allocation utilisés. Une analyse de sensibilité permet d'évaluer l'influence des paramètres-clés sur les résultats.



Critères évalués et méthodes d'analyse d'impact

Les résultats d'une Analyse de cycle de vie sont exprimés en impacts potentiels sur l'environnement, dits *midpoints*, parmi lesquels le changement climatique, la destruction de la couche d'ozone, l'épuisement des ressources naturelles, l'acidification atmosphérique, l'eutrophication des eaux, la formation d'oxydants photochimiques, la toxicité et l'écotoxicité, ... Les résultats peuvent aussi être agrégés selon des dommages finaux, dits *endpoints*, sur trois aires de protection qui sont la santé humaine, les écosystèmes et les ressources.

Il existe au niveau international différentes méthodes d'analyse d'impact. Ces méthodes mettent en œuvre les meilleures connaissances disponibles sur les chaînes de cause à effet entre l'utilisation des ressources et les émissions de polluants d'une part, et leurs impacts sur l'environnement d'autre part. Les apports scientifiques continus améliorent progressivement les modèles permettant de caractériser ces chaînes de cause à effet. Lors de la réalisation d'une Analyse de cycle de vie, il est conseillé d'utiliser plusieurs méthodes d'analyse d'impact en parallèle et de tester la sensibilité des résultats à ces choix méthodologiques.

La Commission européenne via son centre de recherche JRC-IES a publié en 2011 des recommandations sur les méthodes d'analyse d'impact pour l'Analyse de cycle de vie au niveau international.

Les réponses apportées par l'Analyse de cycle de vie

L'Analyse de cycle de vie est mise en œuvre pour de nombreux usages, comme l'appui à la stratégie d'entreprise, la recherche et le développement, la conception de produits ou de processus, l'éco-design, l'enseignement, la communication, les labels et déclarations de produits (Copper *et al.*, 2008; Teixeira *et al.*, 2011). L'Analyse de cycle de vie fait désormais partie des méthodes de référence pour l'évaluation des enjeux environnementaux de produits ou de services dans les institutions publiques nationales (Ademe, ministère du Développement durable, France) ou internationales, (UNEP-Setac, Commission européenne), notamment dans le cadre des projets d'affichage environnemental.

▮ Identifier les possibilités d'amélioration des performances environnementales des produits à différentes étapes de leur cycle de vie

L'Analyse de cycle de vie permet d'identifier les étapes du cycle de vie qui contribuent le plus à chaque catégorie d'impact, les contributions étant toujours négatives en Analyse de cycle de vie. Il est ensuite possible de remonter aux substances émises ou aux ressources consommées qui sont les principales responsables de ces impacts. Cette analyse met ainsi en lumière les processus sur lesquels les marges de progrès environnementaux sont les plus importantes, à croiser avec les alternatives techniques disponibles. Il est dès lors possible de déterminer les actions prioritaires à effectuer pour l'amélioration environnementale d'un système, en mettant en évidence les solutions ayant les meilleurs rapports efficacité / coûts environnementaux.

Les résultats produits lors de cette phase peuvent parfois surprendre (exemples disponibles sur le site de l'Ademe), en faisant ressortir une étape du cycle de vie comme principale responsable des impacts alors qu'elle n'est pas identifiée comme telle par le grand public, ou plus généralement par les destinataires de l'étude.

▮ Identifier les transferts de pollutions entre catégories d'impacts et entre étapes du cycle de vie des produits

La nature globale de l'évaluation par l'Analyse de cycle de vie à la fois par le nombre de critères évalués et par la couverture de tout le cycle de vie lui permet de rendre directement visibles les éventuels déplacements des pollutions à la fois entre les différentes étapes du cycle de vie et entre les catégories d'impact. Ces deux situations sont illustrées dans la figure 8.2.

▮ Aide à la décision, comparaison de scénarios et de variantes de production

Comme les impacts environnementaux sont exprimés par unité de fonction du produit ou du système étudié, l'Analyse de cycle de vie relie les performances environnementales aux fonctions (exemple fonction agricole), et devient un puissant outil d'aide à la décision. Il est ainsi possible de comparer plusieurs offres, solutions techniques, chaînes d'approvisionnement, etc.

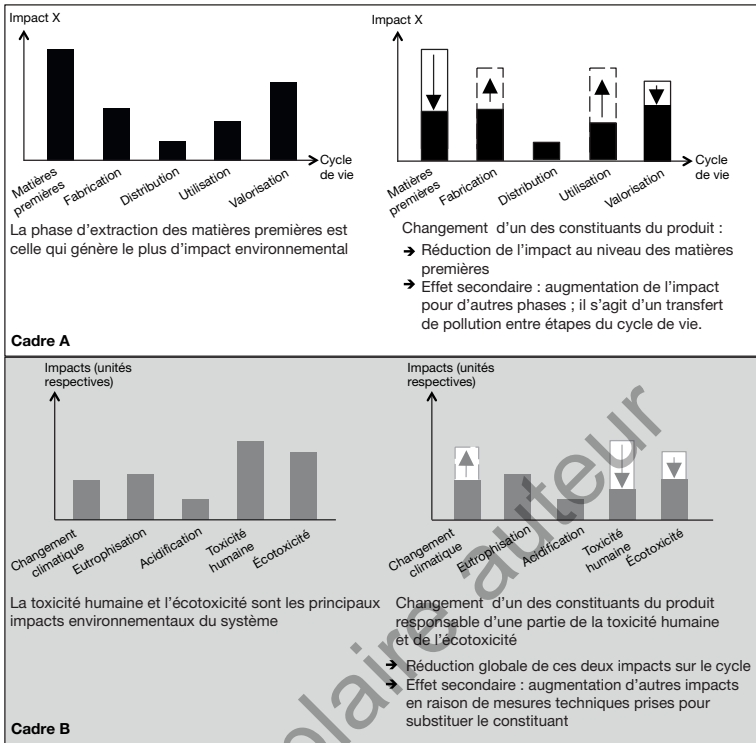


Figure 8.2.

L'Analyse de cycle de vie permet de mettre en évidence les transferts d'impact entre phases du cycle de vie (cadre A en haut) ou entre impacts (cadre B).

Appliqué au cycle de vie d'une fonction agricole comme la production de fibres de coton, l'Analyse de cycle de vie permet ainsi de comparer des variantes de systèmes de production entre elles, par exemple la gestion phytosanitaire dans une filière nationale. Une étude des modes de production de coton au Mali est en cours au Cirad au moment de l'édition de cet ouvrage, avec une comparaison des traitements calendaires, sur seuils, et en lutte étagée ciblée.

▮ Écoconception

L'Analyse de cycle de vie est utilisée de façon prospective en amont de la conception d'un produit ou d'un prototype, et permet ainsi d'identifier les points sur lesquels l'entreprise pourrait agir en phase de conception du produit. On parle alors d'écoconception. Un écoproduit

est conçu dès l'origine de façon à optimiser ses impacts sur l'environnement tout au long du cycle de vie, tout en conservant ses performances lors de l'utilisation. L'Analyse de cycle de vie est le principal outil de l'écoconception, et des développements scientifiques spécifiques sont en cours pour les systèmes de productions agricoles.

L'écoconception a rapidement démontré des externalités positives, l'intégration des aspects environnementaux dès la conception servant d'autres objectifs.

Objectifs économiques : optimisation des coûts de matières premières, augmentation de la durée de vie du produit, baisse des coûts de maintenance, réduction des coûts de traitement, etc.

Objectifs sociaux : baisse des risques sanitaires, augmentation du confort des usagers, réduction des nuisances sonores, etc.

L'inventaire de cycle de vie

La réalisation de l'inventaire de cycle de vie (ICV) est la deuxième étape de l'Analyse de cycle de vie (figure 8.1). Elle nécessite beaucoup de données et est coûteuse en termes de temps et de travail. Pour faciliter l'élaboration de l'inventaire de cycle de vie, des bases de données génériques (souvent associées à des logiciels de calcul d'Analyse de cycle de vie dédiés) ont été mises au point par des industriels ou par des cabinets spécialisés. Ces bases de données contiennent les données d'ICV de produits ou services qui sont nécessaires de façon transversale dans la plupart des Analyses de cycles de vie, comme l'extraction des matières premières, la production d'électricité par pays, les moyens de transports (fret ou passager), la gestion des déchets.

Les bases de données ecoinvent et ELCD (*European Reference Life Cycle Database*) réputées fiables se distinguent notamment par la clarté et l'exhaustivité des métadonnées de leurs inventaires de cycle de vie : à partir d'un produit donné (par exemple un produit fertilisant comme l'urée), il est possible de retrouver chaque étape de sa production (produits chimiques utilisés, énergie consommée, infrastructure nécessaire, transports) et d'étudier les impacts associés. Ces deux bases de données sont les plus utilisées car elles permettent aux praticiens de vérifier les hypothèses de modélisation des données et les choix méthodologiques effectués de façon aisée, et de faire si besoin des modifications dans les inventaires de cycle de vie proposés (par exemple pour changer le mix électrique ou le mode d'allocation). Le Cirad développe depuis 2007 une base de données propre dédiée aux produits majeurs



des pays du Sud. Celle-ci contient notamment les inventaires de cycle de vie pour les filières coton, agrumes, banane, canne à sucre, tomate, huile de palme, cacao, café, riz, mangue, caoutchouc naturel (hévéa), manioc, viande bovine, viande ovine.

Les inventaires de cycles de vie issus de ces bases de données sont identifiés comme des données secondaires, c'est-à-dire des données pour lesquelles le praticien n'a pas lui-même réalisé l'inventaire de cycle de vie, par opposition aux données primaires que le praticien collecte sur le terrain pour décrire son système. Le tableau 8.1 indique de façon simplifiée la distinction entre données primaires et secondaires dans le cadre de l'Analyse de cycle de vie de la production de fibre de coton (Cirad, 2014).

L'Analyse de cycle de vie de la culture de cotonnier

▮ État de l'art

Dans cette Analyse de cycle de vie, une analyse bibliographique large³ des évaluations environnementales de type Analyse de cycle de vie de la phase agricole des systèmes cotonniers a été réalisée en se focalisant sur les études dont le système contient au minimum la phase de production agricole du coton (on parle alors de système *cradle to farm gate*) et parfois l'étape de séparation de la fibre et des graines (*cradle to market gate*).

Grâce à cette phase de recherche bibliographique, nous avons repéré les éléments suivants :

- aucun des systèmes étudiés ne correspond aux systèmes de culture du coton en Afrique ;
- aucune publication d'Analyse de cycle de vie de production biologique du coton n'a été trouvée ;
- la grande majorité des études ne concerne qu'un seul impact environnemental, en l'occurrence le changement climatique. Il s'agit essentiellement de bilan de gaz à effet de serre ou bilan carbone. Bien que s'intéressant au cycle de vie, ces études ne sont pas multicritères et ne peuvent pas être appelées des analyses de cycle de vie à proprement parler ;
- peu d'études sont complètement transparentes. Les principales lacunes dans la documentation concernent les méthodes et les données d'inventaire de cycle de vie et notamment les modèles d'estimation des

3 Publications scientifiques, rapports, manuscrits de thèses, présentations en conférence.

**Tableau 8.1.** Source des données pour réaliser l'inventaire de cycle de vie (ICV).

Étapes du cycle de vie de la culture du cotonnier	Données primaires		Données secondaires
	Collecte de données et Expertise	Bibliographie	
Fertilisation organique (de fond)	Nature, origine du fertilisant et quantités appliquées	Composition du fertilisant	Facteur d'émission des substances
Fertilisation chimique	Type de substances et quantités		Facteur d'émission des substances
Fertilisation organique (de fond)	Type de substances et quantités		Facteur d'émission des substances
Traitement des semences	Type de substances et quantités (basés sur des recommandations)		Facteur d'émission des substances
Désherbage	Types de substances et quantités dans un traitement moyen, nombre moyen de traitements		Facteur d'émission des substances
Traitements insecticides	Nombre de traitements Substances et quantités par traitement		Facteur d'émission des substances
Transport du coton (marchés-usines)	Distances parcourues marché-usine, types de camions		Impacts associés à l'utilisation du camion
Égrenage à l'usine	Type d'usine, consommation en eau	Consommations de l'usine	Facteur d'émission des substances, construction des infrastructures



émissions utilisés. Le manque de transparence rend la comparaison des résultats difficile compte-tenu des différences de choix méthodologiques entre ces études.

▮ L'Analyse de cycle de vie du coton au Mali

L'Analyse de cycle de vie réalisée par le Cirad porte sur la production conventionnelle et biologique de coton au Mali. Le système étudié comprend la production de coton brut et l'égrenage, ainsi que toutes les consommations de matières et d'énergies associées à toutes les étapes : fertilisation de fond, défrichage, traitement des semences, fertilisation, traitements phytosanitaires, récolte, transport du coton brut et égrenage.

L'unité fonctionnelle retenue est le kilo de fibres de coton dans une balle, à la sortie de l'usine d'égrenage. La figure 8.3 montre les résultats des productions biologique et conventionnelle.

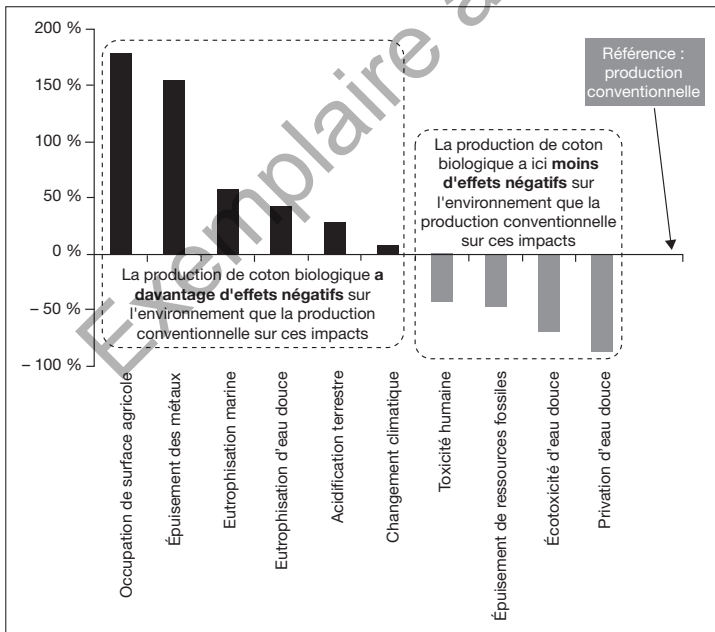


Figure 8.3.

Impacts environnementaux de la production de coton biologique au Mali, en pourcentage différentiel de la production moyenne conventionnelle (référence 0%) par kg de coton-graine.

Les résultats sont contrastés en fonction des impacts choisis ramenés à un kilo de fibres de coton produit, conventionnel ou biologique.

La production d'un kilo de coton biologique a plus d'impact négatif sur l'environnement que la production conventionnelle (partie gauche de la figure 8.3) pour l'occupation de la surface agricole, l'épuisement des métaux, l'eutrophisation marine et d'eau douce, l'acidification terrestre et le changement climatique. Ces différences d'impacts s'expliquent essentiellement par la différence importante de rendement au champ entre la production conventionnelle et la production biologique.

En revanche, la production d'un kilo de coton biologique a moins d'impact sur l'environnement que la production conventionnelle pour la toxicité humaine, pour l'écotoxicité d'eau douce, essentiellement par l'absence d'utilisation en production biologique de certaines molécules phytosanitaires très toxiques, et pour l'épuisement des ressources fossiles et la privation d'eau douce. Pour ces deux derniers impacts, la production conventionnelle est en effet pénalisée par l'utilisation de fertilisants synthétiques dont la production consomme beaucoup d'eau et de composés d'origine fossile.

Perspectives et recherches en Analyse de cycle de vie

▀ Élargir le panel d'impacts environnementaux calculés et améliorer les modèles

Des projets de recherche visent spécifiquement les développements scientifiques de nouvelles catégories d'impacts et des indicateurs associés, et l'amélioration des indicateurs existants. Dans ce but, le Cirad travaille notamment sur les enjeux environnementaux pour les filières des pays du Sud, comme les impacts liés à l'usage d'eau douce, à l'usage des sols ou encore à l'usage des pesticides. Les recherches actuelles devraient donner plus de fiabilité et de robustesse aux résultats d'Analyse de cycle de vie, en améliorant la précision, et étendre leur validité à des systèmes de production des pays du Sud en utilisant des modèles d'estimations des émissions et des données de référence calibrés d'après les données de terrain.

▀ Prendre en compte les impacts sociaux

Pour prendre en compte de façon harmonisée les trois composantes du développement durable – développements économique,



environnemental et social - les recherches s'orientent vers la transposition du cadre conceptuel et méthodologique de l'Analyse de cycle de vie dans le domaine social. Cette transposition nécessite des adaptations spécifiques du cadre conceptuel et des procédures de construction du système étudié.

L'harmonisation des cadres conceptuels de l'Analyse de cycle de vie environnementale et de l'analyse sociale du cycle de vie, à laquelle travaillent actuellement certaines équipes de recherche, notamment du Cirad et de l'Irstea au sein du pôle ELSA⁴, a donc pour objectif d'aboutir à une méthode multicritère unifiée afin d'évaluer à la fois les impacts sociaux et environnementaux de produits ou de services tout au long de leur cycle de vie.

Conclusion

L'Analyse de cycle de vie est un outil pertinent pour évaluer les impacts environnementaux de services ou de produits, notamment les produits agricoles. Cette méthode d'aide à la décision permet de générer des connaissances et d'identifier d'éventuels transferts de pollutions entre catégories d'impacts et entre les étapes du cycle de vie des produits et/ou zones géographiques. Les activités de recherches actuelles sur la modélisation d'impacts manquants ou la régionalisation d'impacts existants, les procédures de qualité, la transparence des données, des processus et des modèles, et l'harmonisation des méthodes contribuent à l'amélioration de la robustesse de la méthode et à sa maturité.

La mise en œuvre pratique d'une Analyse de cycle de vie présente des difficultés à surmonter, en particulier concernant le volume et la qualité des données à mobiliser pour la réalisation de l'inventaire de cycle de vie : des données primaires de qualité, et des références existantes mobilisables en tant que données secondaires pour modéliser les processus amont. Ces références secondaires sont faibles ou inexistantes sur certaines caractéristiques des systèmes des pays du Sud (graine de *neem*, huile de *koby*). Alors que la culture de cotonnier est parfois pointée du doigt par l'opinion publique pour son impact sur l'eau ou l'emploi des pesticides, il existe peu d'études sur la phase de production du coton.

⁴ Le Pôle ELSA - Environmental Life cycle and Sustainability Assessment- est un groupe de recherche pluridisciplinaire interinstituts sur l'évaluation de la durabilité.

Exemplaire auteur



Glossaire

Abscission : processus physiologique naturel par lequel une feuille, une fleur, un fruit, se détache d'une plante.

Acidification des sols : L'acidification des sols est un processus naturel qui a tendance à s'accroître en sols cultivés et sous un climat pluvieux. Elle correspond à la baisse des bases échangeables (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+) du complexe d'échange cationique (CEC) remplacées par des ions H^+ .

Alfisol : correspond à un sol lessivé, à accumulation d'argiles en horizon profond de la classification américaine. Synonyme de Luvisol de la classification FAO, et des sols ferrugineux tropicaux lessivés de la classification française.

Analyse de cycle de vie : méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux de produits ou de services rapportés à leur fonction. Cette méthode prend en considération l'ensemble du cycle de vie du produit, de l'extraction des matières premières, à l'utilisation et aux traitements en fin de vie et l'élimination finale des déchets, ainsi que la production d'énergie, de matière et la fabrication.

Axe monopodial : axe qui correspond au développement du bourgeon terminal axial, par opposition à axe sympodial qui correspond au développement d'un bourgeon axillaire latéral.

Biopesticide : il s'agit de produits biologiques non-vivants issus de plantes, bactéries...la toxine Bt en fait partie mais pas le cotonnier Bt.

Carpelle : enveloppe protectrice supplémentaire du pistil, d'origine

foliacée, définissant notamment l'ovaire qui contient les ovules. Les carpelles se transforment en fruit après la fécondation.

Changement climatique : modification durable des équilibres climatiques de la Terre et de ses divers climats régionaux, et notamment du phénomène naturel d'effet de serre, dû à l'augmentation des émissions de gaz dits « à effet de serre » engendrées par les activités humaines dans l'atmosphère.

Coefficient iso-humique : rendement de la transformation en humus stable des matières organiques (par exemple, ce rendement est de l'ordre de 15 % pour les pailles).

Croissance : accumulation de matière sèche dans les plantes.

Cry : la bactérie *B. thuringiensis* forme des cristaux de protéines insecticides appelées *crystal proteins* d'où le nom Cry. Pour la majorité des souches de *B. thuringiensis*, les gènes *cry* sont localisés sur un plasmide et non sur les chromosomes. Pour lutter contre les ravageurs, les gènes responsables de la production de ces toxines ont été isolés et insérés par génie génétique dans le génome de certaines plantes cultivées.

Déhiscence : ouverture spontanée et à maturité d'organes végétaux clos (anthères, fruits) suivant des zones définies, pour libérer leur contenu (graines, pollen, spores, etc.).

Délintage : voir linter.

Développement : dans le cas d'une plante, apparition des organes végétatifs et fructifères sur le plant.

Diapause : phase génétiquement déterminée dans le développement d'un organisme pendant laquelle il diminue l'intensité de ses activités métaboliques. Chez les insectes par exemple, la diapause peut permettre de passer la saison sèche en attendant le retour de conditions favorables

Écoconception : intégration des préoccupations environnementales dans la conception ou la re-conception de produits.

Écotoxicité : toxicité vis-à-vis des organismes vivants, l'homme étant exclu.

Égrenage : action de séparer la fibre des graines qui la portent. Cette opération peut se faire à la main, à l'égreneuse au rouleau (un rouleau entraîne les fibres pendant qu'un couteau sépare les graines) ou à l'égreneuse à scies (les scies séparent les fibres des graines dans un rouleau de coton-graine et les entraînent de manière séparée des graines).

Entomofaune : partie de la faune constituée par les insectes qui comprend les aptérygotes, qui se caractérisent par l'absence d'ailes, et les ptérygotes.

Eutrophisation des eaux : enrichissement excessif d'un milieu aquatique en éléments nutritifs (azote et phosphore) ou en matières organiques, provoquant un développement de biomasse végétale provoquant à terme une réduction de la biodiversité aquatique.

Faune auxiliaire : regroupe les espèces d'animaux interagissant positivement avec les cultures. Ce terme est généralement utilisé en opposition aux espèces dites nuisibles.

Gossypol : polyphénol contenu en abondance dans les glandes micros-

copiques des graines de certains cotonniers du genre *Gossypium*. Le gossypol (étymologie : *Gossypium* + phénol) est un pigment toxique jaune. Il assure une fonction défensive contre les insectes et les animaux herbivores.

Holométabole : se dit des insectes qui ont des métamorphoses complètes et dont la forme adulte est toujours précédée par un stade nymphal immobile.

Hystérésis : propriété d'un système qui tend à demeurer dans un certain état quand la cause extérieure qui a produit le changement d'état a cessé.

Indice de prix Cotlook : indicateur de prix mondial des cotons, toutes origines confondues. L'indicateur repose sur des prix d'offre d'un certain nombre d'origines de cotons du marché international, et pour une qualité de base précise (*middling 1-3/32*» de pouce). L'indice publié un jour donné représente la moyenne des cinq cotations les plus basses des origines choisies. L'indice est basé sur les conditions commerciales suivantes : CIF (coût, assurance et fret), paiement par lettre de crédit à vue, commission d'agent de 1%, livraison en Extrême-Orient, port n'ayant pas de surcharge de fret importante.

Indice micronaire, ou Micronaire : combinaison de la finesse et de la maturité des fibres, et le résultat d'une mesure de ces deux grandeurs. Elle donne une idée de la taille de la section droite en coupe des fibres de coton composant un échantillon.

Linter (déliner) : fibres courtes résiduelles qui restent à la périphérie des graines de coton après l'opération d'égrenage. Déliner consiste à retirer ce linter, par une opération chimique ou mécanique, afin d'amé-



liorer la germination des semences. C'est le délintage.

Lumen : canal médullaire central de chacune des fibres de coton. La maturité des fibres dépend de la 'taille' de lumen en comparaison à la 'taille' de la même fibre, et dépend des conditions de culture principalement.

Lutte autocide : méthode qui consiste à introduire dans un milieu de grandes quantités des individus mâles stériles du ravageur cible, qui vont entrer en compétition avec les mâles autochtones pour la fécondation des femelles. Leurs accouplements ne donnant pas de descendance, la population du ravageur ciblé va décliner.

Miellat d'insecte : les dépôts de miellats d'insectes sont constitués de sucres qui se déposent sur les fibres. À chaque opération de transformation des fibres, ces dépôts sont disséminés et fragmentés. En contact avec les ambiances relativement humides des filatures et étapes ultérieures, ces dépôts sucrés se ramollissent et adhèrent à toutes les surfaces en contact avec les fibres – principalement des cylindres en pression l'un contre l'autre. On observe alors des phénomènes de collage qui perturbent les étapes de transformation qui induisent des problèmes de qualité et des pertes de production.

Mix électrique : mélange d'électricité provenant de différentes sources d'énergies (nucléaire, fossile, hydraulique, solaire ...) et de différentes technologies de production d'électricité.

Mucron : pointe ou « bec » qui termine la capsule de coton et pique parfois les doigts des récolteurs.

Multivoltin : se dit d'une espèce d'insecte qui produit plusieurs générations par an.

Mulch : paillage, souvent d'origine végétale, laissé en couverture du sol pour réduire l'érosion, réguler la température du sol, favoriser l'habitat des organismes vivants, lutter contre les adventices, etc.

Néonicotinoïde : classe d'insecticides agissant sur le système nerveux central des insectes. Ces neuro-toxiques sont généralement des dérivés chlorés. Ils ciblent les récepteurs nicotiniques de l'acétylcholine.

Neps : liés directement à la contamination des fibres, ce terme désigne des objets différents classés comme suit : 1) les 'neps fibres', immatures pouvant donner des défauts de teinture et ceux créés par le processus de filature (soulèvement de fibres), 2) les neps coque ou *Seed Coat Fragments*, portions des coques brisées de la graine au moment de l'égrenage et non éliminées lors du processus de filature, 3) les neps miellats constitués par les miellats d'insectes causant le collage des fibres de coton et 4) les neps divers constitués essentiellement des débris végétaux.

Nymphose : la nymphe représente le stade du développement intermédiaire entre la larve et l'imago lors des mues de métamorphose des insectes holométaboles. Le stade nymphal commence donc par la mue d'une larve en nymphe (mue nymphale ou nymphose) et se termine par la mue de la nymphe en imago (mue imaginale ou mue adulte).

Parthénogénèse : (du grec *parthenos*, vierge et *genesis*, naissance) division à partir d'un gamète femelle non fécondé. C'est un mode de reproduc-

tion monoparental. Elle appartient aux modes de reproduction sexuée, car elle nécessite l'intervention d'un gamète mais, en l'absence d'apport de matériel génétique d'un autre individu, le résultat s'apparente à la reproduction asexuée.

Parthénogénèse thélytoque : aboutit à une descendance uniquement composée de femelles. Il peut y avoir absence totale de mâle chez l'espèce. C'est la situation la plus fréquemment rencontrée dans la nature, elle est obligatoire et constante.

Parthénogénèse arrhénotoque : aboutit à une descendance uniquement composée de mâles. Dans ce cas, il y a formation d'une femelle si l'œuf est fécondé. C'est donc une parthénogénèse facultative et l'espèce possède des individus des deux sexes.

Pupe : la nymphe des Lépidoptères est souvent appelée chrysalide. Chez les mouches (Diptères), l'équivalent de la nymphe est la puppe, avec une différence importante toutefois, puisqu'elle reste à l'intérieur de la dernière cuticule larvaire (absence d'exuviation nymphale).

Quartier d'orange : partie de la capsule, loge de la capsule, qui ne s'est pas développée comme les autres et dont les grains et les fibres sont inutilisables

Rendement égrenage (% F) : en première approximation, c'est la masse des fibres rapportée à la masse initiale du coton-graine, exprimée en pourcentage. Selon la méthode de caractérisation utilisée, différents effets/impacts sont pris en compte (humidité, technique d'égrenage, déchets, ...).

Stade phénologique : l'apparition d'événements périodiques (stades) tels que la floraison, la feuillaison, la fructification...

Type de vente : échantillon de fibres de caractéristiques spécifiques de couleur, de présence de débris de feuilles et de matières étrangères, et de préparation des fibres, servant de référence pour la comparaison des échantillons en provenance de la production de fibre quotidienne; cette activité relève du classement du coton. Les échantillons de la production sont généralement comparés à une gamme de types de vente. Il peut exister une gamme par pays ou zone de production. Cependant, une tentative d'harmonisation a été initiée, d'abord par l'Afcot, puis reprise par l'ACA avec l'aide de l'UEMOA et de l'Onudi, pour établir une gamme de types de vente pour refléter la qualité des productions des pays africains membres de l'ACA.



Références bibliographiques

- Amadou Soule A., Bachelier B., 2006. Manuel qualité pour les filières cotonnières UEMOA, Standards Afrique de qualité du coton fibre. Guide technique n° 3, version 1, juillet 2006, 76 p.
- Anderson J.M., Ingram J.S.I., 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility: a Handbook of Methods*. CAB International, Wallingford.
- Bachelier B., Lassus S., 2000. Breeding against seed-coat fragments in cotton fiber (*Gossypium hirsutum* L.) using image analysis on card web. Beltwide Cotton Conferences. San Antonio, Texas (États-Unis), National Cotton Council of America. Memphis, Tennessee (États-Unis). 2 : 1542.
- Basset-Mens C., Small B., Paragahawewa U., Langevin B., Blackett P., 2009. Life cycle thinking and sustainable food production. *International Journal of Lifecycle Product Management*, 4(1/2/3): 252-269.
- Blanchart E., Lavelle P., Spain A.V., 1990. Effects of biomass and size of *Millsonia anomala* (Oligochaeta: Acanthodrilidae) on particle aggregation in a tropical soil in the presence of *Panicum maximum* (Gramineae). *Biology and fertility of soils*, 10(2): 113-120.
- Bessou C., Basset-Mens C., Tran T., Benoist A., 2012. LCA applied to perennial cropping systems: a review focused on the farm stage. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18: 340-361.
- Bournier J.P., 2002. Les Thysanoptères du cotonnier. Cirad-CA, *Déprédateurs du cotonnier en Afrique tropicale et dans le reste du monde*, 104 p.
- Boyer J., Reversat G., Lavelle P., Chabanne A., 2013. Interactions between earthworms and plant-parasitic nematodes. *European Journal of Soil Biology*, 59: 43-47.
- Brévault T., Renou A., Vayssières J.F., Amadji G.L., Assogba Komlan F., Diallo M.D., De Bon H., Diarra K., Hamadou A., Huat J., Marnotte P., Menozzi P., Prudent P., Rey J.Y., Sall D., Silvie P., Simon S., Sinzogan A., Soti V., Tamo M., Clouyel P., 2014. DIVECOSYS: Bringing together researchers to design ecologically-based pest management for small-scale farming systems in West Africa. *Crop Protection*, 66: 53-60.
- Brévault T., Guibert H., Naudin K., 2009. Preliminary studies of pest constraints to cotton seedlings in a direct seeding mulch-based system in Cameroon. *Experimental agriculture*, 45(1): 25-33.
- Cadou J., 1994. Les Miridae du cotonnier en Afrique et à Madagascar. Cirad-CA, *Déprédateurs du cotonnier en Afrique tropicale et dans le reste du monde*, 78 p.
- Chanselme J.L., Kinre H., Bachelier B., 2006. Manuel qualité pour les filières cotonnières UEMOA. Égrenage du coton-graine. Guide technique n° 2. version 1, juillet 2006, 72 p.
- Cognée M., 1988. Relation entre température et développement en culture cotonnière méditerranéenne. In : Braud M. et Campagne P. (éd.), *Le coton en Méditerranée et au Moyen-Orient*. CIHEAM, Options méditerranéennes, série études 1988-1, 119-128.

- Cooper J.S., Fava J.A., 2008. Life-Cycle Assessment Practitioner Survey: Summary of Results. *Journal of Industrial Ecology*, 10(4) : 12-14. doi:10.1162/jiec.2006.10.4.12
- Couilloud R., 1987. Les *Earias* du cotonnier : *Earias insulana* (Boisduval) et *E. biplaga* Walker en Afrique. *Coton et Fibres Tropicales*, 42(4) : 281-303.
- Couilloud R., 1988. *Cryptophlebia* (= *Argyroploce*) *leucotreta* (Meyrick) (Lepidoptera, Tortricidae, Olethreutinae). *Coton et Fibres Tropicales*, 43(4) : 319-351.
- Couilloud R., 1989. Hétéroptères prédateurs du cotonnier en Afrique et à Madagascar (Pyrrhocoridae, Pentatomidae, Coreidae, Alydidae, Rhopalidae, Lygaeidae). *Coton et Fibres Tropicales*, 44(3) : 185-227.
- Couilloud R., 1989. Coléoptères prédateurs du cotonnier en Afrique et à Madagascar. Cirad-CA, *Prédateurs du cotonnier en Afrique tropicale et dans le reste du monde*, 92 p.
- Crétenet M., Vaissayre M., 1986. Modèle de décision appliqué à l'interaction entre fertilisation minérale et protection phytosanitaire en culture cotonnière. *Coton et Fibres Tropicales*, 41(2) : 89-96.
- Crétenet M., 1987. Aide à la décision pour la fertilisation du cotonnier en Côte d'Ivoire. *Coton et Fibres Tropicales*, 42(4) : 245-254.
- Crétenet M., Dessauw D., Bachelier B., 2006. Manuel qualité pour les filières cotonnières UEMOA, Production de coton-graine de qualité. Guide technique n°1, version 1, juillet 2006, 76 p.
- Deguine J.P., 1991. *Anomis flava* (Fabricius, 1775) Lepidoptera, Noctuidae, Noctuidae, Ophiderinae. *Coton et Fibres Tropicales*, 46(2) : 105-142.
- Demol J., 1992. Le cotonnier au Zaïre. Publication agricole n°29. Administration générale de la coopération au développement. Bruxelles, Belgique. 247 p.
- Dessauw D., Hau B., 2006. Inventory and history of the CIRAD Cotton (*Gossypium* spp.) Germplasm Collection. *Plant Genetic Resources Newsletter*, International Plant Genetic Resources Institute, 147: 52-58.
- Dessauw D., Hau B., 2008. Cotton breeding in French-speaking Africa: Milestones and prospects. In : World Cotton Research Conference 4 : Lubbock, United-States, September 10-14, 2007. Madison, Omnipress.
- Diop A.M., Bachelier B., 2006. Manuel qualité pour les filières cotonnières UEMOA, Pratique du commerce de la fibre de coton, Guide technique n°5, version 1, juillet 2006, 52 p.
- Dowd-Urbe B., 2014. Engineering yields and inequality? How institutions and agro-ecology shape Bt cotton outcomes in Burkina Faso. *Geoforum*, 53 : 161-171.
- European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, 2010. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook : General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. Eur 24708 EN. *European Commission*, 417. doi:10.2788/38479.



- Finger R., El Benni N., Kaphengst T., Evans C., Herbert S., Lhemann B., Morse S., Stupak N., 2011. A meta-analysis on farm-level costs and benefits of GM crops. *Sustainability*, 3:743-762.
- Fok M., 2010. Autant en emporte la culture du coton transgénique aux États-Unis... Une perception des échanges et des présentations lors des Beltwide Cotton Conferences, Nouvelle-Orléans, Louisiane (États-Unis), *Cahiers Agricultures*, 19(4) : 292-298.
- Fok M., 2014. Farmer and market interactions in using biotech cotton varieties and seed. A case in Northern China Wang G., *Journal of Development Studies*, 50(5): 696-714.
- Freeman J., 2012. How do “imagined farmers” negotiate actual risks? Biosafety trade-offs in Bt cotton production in Andhra Pradesh, India. *The Journal of Political Ecology*, 19:162-173.
- Gérardeaux E., Sultan B., Oettli P., Oumarou P., Guiziou C., Krishna N., 2013, Positive effect of climate change on cotton in 2050 by CO₂ enrichment and conservation agriculture in Cameroon. *Agron. Sustain. Dev.*, 33: 485-495.
- Gourlot J.P., Bachelier B., Braye D., Brunissen C., Duplan S., Favreau B., Francalanci P., Frydrych R., Gawrysiak G., Krifa M., Lassus S., Marquié C., Niewiadomski J.C., Tamime O., Vialle M., Viallettes V., 1999. Recherche et développement en technologie : mesurer et améliorer la qualité des produits du cotonnier, créer de nouveaux débouchés. *Agriculture et développement*, 22 : 90-112.
- Gourlot J.P., Gawrysiak G., Bachelier B., 2006. Manuel qualité pour les filières cotonnières UEMOA. 4, Classement de la fibre de coton. Vienne : UNIDO, 51 p. ISBN 92-1-206191-5 / 9-789212-061870.
- Gourlot J.P., Aboe M., Lukonge L., 2012. Within and between bale variability of instrumental data: measurement and practical incidence on cotton trading for cotton produced in Africa. In : Marquardt Friedrich (ed.). Proceedings of the 31th International Cotton Conference, Bremen, March 21-24, 2012 : competition / compatibility. Brême : Faserinstitut Bremen, p. 99-121.
- Grard P., Le Bourgeois T., Merlier H., 2010. *Adventrop V.1.5 Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne*. Cirad, Montpellier, France. Deuxième édition. Cdrom. <http://idao.cirad.fr/applications>.
- Gruere G., Sun Y., 2012. Measuring the contribution of Bt cotton adoption to India's cotton yields leap. IFPRI discussion Paper 01170. 17 p.
- Gruere G., 2008. Bt cotton and farmer suicide in India. Reviewing the evidence. IFPRI discussion Paper 00808. 64 p.
- Guttierez J., 1992, Les acariens déprédateurs du cotonnier. *Coton et Fibres Tropicales*, 47(3) : 153-172.
- Hofs J.L., Gozé E., Cene B., Kioye S., Adakal A., 2013, Assessing the indirect impact of Cry1Ac and Cry2Ab expressing cotton (*Gossypium hirsutum* L.) on hemipteran pest populations in Burkina Faso. *IOBC-WPRS Bulletin*, 97: 49-54.
- Hofs J.L., Fok M., Vaissayre M., 2006. Impact of Bt cotton adoption on pesticide use by smallholders: a 2- year survey in Makhatini Flats (South Africa). *Crop protection*, 25: 984-988. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2006.01.006>.

- Hofs J.L., Fok M., Gouse M., Kirsten J.F., 2006. Diffusion du coton génétiquement modifié en Afrique du Sud: des leçons pour l'Afrique zone franc. *Revue tiers monde*, 43 (188) : 799-823.
- Hofs J.L., Berti F., 2006. Les cotonniers (*Gossypium hirsutum* L.) génétiquement modifiés, Bt : quel avenir pour la petite agriculture familiale en Afrique de l'Ouest et du Centre? *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, 10 (4) : 335-343.
- Colloque le Coton dans tous ses états, 2006-05-12, Gembloux, Belgique.
- Hulugalle N.R., Entwistle P.C., Mensah R.K., 1999. Can lucerne (*Medicago sativa* L.) strips improve soil quality in irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) fields? *Appl. Soil Ecol.*, 12: 81-92.
- International Cotton Advisory Committee, 2010. World statistics.
- International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook : Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. EUR 24571 EN.
- ISO-14040 : 2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Environmental Management (Vol. 3).
- ISO - 14044 : 2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines.
- Jolliet O., Saadé M., Crettaz P., Shaked S., 2010. Analyse du cycle de vie : Comprendre et réaliser un écobilan. p. 302.
- Kintché K., Guibert H., Sogbéjji J., Tittonnell P., 2010. Carbon losses and primary productivity decline in savannah soils under cotton-cereal rotations in semiarid Togo *Plant and Soil*, 336 (1-2) : 469-484. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-010-0500-5>
- Kuruganti K., 2009. Bt cotton and the myth of enhanced yields. *Economic & Political Weekly* 44(22): 29-33.
- Lavelle P., 1978. Les vers de terre de la savane de Lamto (Côte-d'Ivoire) : peuplements, populations et fonctions dans l'écosystème. Thèse d'État, Paris VI. Publ. du Ladbe. Zoologie de l'ENS.
- Le Gall J., 1995. *Pectinophora gossypiella* (Saunders), Lepidoptera, Gelechiidae. Cirad-CA, Montpellier, *Déprédateurs du cotonnier en Afrique tropicale et dans le reste du monde*, 110 p.
- Marnotte P., Le Bourgeois T., 2002. Session tropicale du COLUMA, 2001. Les mauvaises herbes des cultures tropicales. *Phytoma - La défense des végétaux*, (551) : 8-12.
- Martin, T., 1996. *Diparopsis* spp. (Lepidoptera, Noctuidae, Agrotinae). Cirad-CA, Montpellier, *Déprédateurs du cotonnier en Afrique tropicale et dans le reste du monde*, 44 p.
- Matthews G.A., Tunstall J.P., 1994. Insect pests of cotton. Edited by G.A Matthews and J.P. Tunstall. Wallingford Cab International. 593 p.
- Michel B., 1999. Synthèse des activités conduites en entomologie cotonnière sur le Centre régional de recherche agronomique de Sikasso de 1993 à 1999. IER, Sikasso, Mali, 53 p.
- Naudin K., Gozé E., Balarabe O., Giller K. E., Scopel E., 2010. Impact of no tillage and mulching practices on cotton production in North Cameroon : A multi-locational on-farm assessment. *Soil and Tillage Research*, 108(1-2): 68-76.



- Nibouche S., 1999. *Helicoverpa* (= *Heliiothis*) *armigera* Hübner, 1808 (Lepidoptera, Noctuidae, Heliothinae). Montpellier, Cirad-Ca, *Déprédateurs du cotonnier en Afrique tropicale et dans le reste du monde*, 51 p.
- Nkem J.N., de Bruyn L.A.L., Grant C.D., Hulugalle, N.R. 2000, The impact of ant bioturbation and foraging activities on surrounding soil properties. *Pedobiologia*, 44: 609-621.
- Osset P., Grisel L., 2008, L'analyse du cycle de vie d'un produit ou d'un service : Applications et mises en pratique. Retrieved December 03, 2014, from <http://www.amazon.fr/Lanalyse-cycle-vie-produit-service/dp/212465151X>.
- Silvie P., 1990. *Syllepte derogata* (Fabricius, 1775) (Lepidoptera, Pyraloidea, Crambidae, Spilomelinae). *Coton et Fibres Tropicales*, 45(3): 199-227.
- Soutou G., Naudin K., Balarabe O., Adoum O., Scopel É., 2007. Effet du semis sous couvert végétal sur l'infiltration, le ruissellement et simulation du bilan hydrique dans les systèmes de culture à base de coton au Nord-Cameroun. Les sols tropicaux en semis direct sous couvertures végétales Antananarivo, Madagascar., *Terre malgache*, 177-179.
- Teixeira, R., Pax S., 2011. A Survey of Life Cycle Assessment Practitioners with a Focus on the Agri-Food Sector. *Journal of Industrial Ecology*, 15(6): 817-820. doi:10.1111/j.1530-9290.2011.00421.x
- Tripp R., 2009. *Biotechnology and agricultural development*. Transgenic cotton, rural institutions and resource-poor farmers. Routeledge Explorations in Environmental Economics. Nick Hanley Ed. London, New York. 274 p.
- Turner M., 2013. *Les semences*. Coll. Agricultures tropicales en poche, Quae, CTA, Presses agronomiques de Gembloux, 222 p.
- Weil M., Bachelier B., 2006. Manuel qualité pour les filières cotonnières UEMOA, Plan Qualité, version 1, juillet 2006, 52 p.

Exemplaire auteur



Sites internet

Site ACA : <http://www.africotton.org/web/interne.html>

Site Aproca : <http://www.aproca.net/>

Site Cirad : www.cirad.fr

Site CSITC : http://csitc.org/index.php?lien1=/cfc_icac_project_33/public_documents_pj

Site Divecosys : <http://divecosys.e-monsite.com/>

Site Elsa : <http://www1.montpellier.inra.fr/elsa>

Site Icac : <https://www.icac.org/>

Site FAO graines : http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Oilcrops/Documents/Food_outlook_oilseeds/FOFRENCHPDF.pdf

Site FAOstat : <http://faostat3.fao.org/>

Site du Joint Research Center - Institute for Environment and Sustainability:
<http://ies.jrc.ec.europa.eu/>

Site des projets ICAC / CFC : <https://www.icac.org/tech/Common-Fund-Projects/Projects>

Exemplaire authentifié

Abréviations, sigles

ACA : Selon ses statuts, l'ACA est constituée de membres actifs, de membres associés et de membres correspondants. Les membres actifs sont les sociétés cotonnières exerçant ou les associations de sociétés cotonnières dont les membres exercent régulièrement en Afrique l'activité de production et d'appui à la production du coton-graine, d'égrenage et de commercialisation de fibre. Les membres associés sont les organisations de producteurs de coton, les associations d'industriels du textile, les associations de triturateurs. Les membres correspondants sont les sociétés de transport et de transit, les banques, les sociétés d'assurance, les associations cotonnières étrangères et les sociétés de négoce international et d'une manière générale toutes les personnes physiques et morales dont l'activité concourt au développement de la filière.

ACV : Analyse de cycle de vie

Ademe : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

ADN : acide désoxyribonucléique

Afcot : Association française cotonnière

Aproca : Association des producteurs de coton des pays membres suivants : Burkina Faso, Bénin, Cameroun, Côte d'Ivoire, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée Bissau, Mali, Sénégal, Tchad, Togo.

Aripo : *African Regional Intellectual Property Organization*

CCIC : Comité consultatif international du coton (Icac)

CEC : capacité d'échange cationique

Cedeao : Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest

Cirad : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

Cilss : Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse dans le Sahel

ELCD : *European Reference Life Cycle Database*

ELSA : *Environmental Life cycle and Sustainability Assessment*, groupe de recherche interinstituts dédié à l'analyse en cycle de vie

Icac : *International Cotton Advisory Committee (CCIC)*

ICV : inventaire de cycle de vie

IRCT : Institut de recherche du coton et des textiles exotiques

ISAAA : *International Services for the Acquisition of Agro-biotech Applications*

ISO : *International Standardization Organization*

Ista : *International Seed Testing Association*

JRC-IES: *Joint Research Center-Institute for Environment and Sustainability* (<http://ies.jrc.ec.europa.eu/>)

OAPI : Organisation africaine de la propriété intellectuelle

OCDE : Organisation de coopération et de développement économique

OGM : Organisme génétiquement modifié

Setac : Société de toxicologie et chimie environnementale

UEMOA : Union économique et monétaire ouest-africaine

Uпов : Union internationale pour la protection des obtentions végétales



Caractéristiques et indicateurs

% F : rendement égrenage

+b : degré de jaune mesuré des fibres de coton

°J : degrés jours

Bt : toxines de *Bacillus thuringiensis*

C : carbone

Ca : calcium

CMI : chaîne de mesure instrumentale (sitc)

CO₂ : gaz carbonique

Cov : certificat d'obtention végétale

DHS : distinction, homogénéité, stabilité

Elong : allongement de rupture mesuré sur les fibres de coton, en %

Fcfa : unité monétaire Franc CFA en Afrique francophone

H : finesse linéique des fibres de coton, en millitex (mtex)

HS : finesse standard des fibres de coton, en millitex (mtex)

IM : indice micronaire, sans unité

JAL : jours après levée

K : potassium

K₂O : oxyde de potassium

LAI : *Leaf Area Index*, rapport de l'aire de la surface foliaire sur l'aire de la surface au sol

LOIC : Lutte par observation individuelle des chenilles

Mg : magnésium

ML : *Mean Length*, longueur moyenne de fibres de coton, en millimètre

MOS : matière organique du sol

MR : *Maturity Ratio*, indication du remplissage des fibres de coton, pas d'unité

NPKSB : engrais complexe contenant : Azote, Phosphore, Potassium, Soufre, Bore.

Ntot : azote total

P₂O₅ : oxyde de phosphore

Pass. : teneur en phosphore assimilable

pH : potentiel hydrogène, mesure de l'acidité

PM : pourcentage de fibres mûres

PMC : poids moyen d'une capsule, en gramme

QTL : *Quantitative trait loci*

Rd : réflectance de fibres de coton, en %

SAM : en génétique, sélection assistée par marqueurs

SI : *Seed-Index*, poids de 100 graines en gramme

sitc : *Standardized Instrument Testing for Cotton* (CMI)

Strength : ténacité de rupture des fibres de coton, en cN/tex

Tex : unité de la masse linéique des matières textiles, correspondante à la masse en gramme de 1 000 mètres de matière (exemple : 20 tex = 20 g de 1 000 mètres de fil)

UHML : *Upper Half Mean Length*, longueur commerciale des fibres de coton, en millimètre ou en fraction de pouce (1 pouce = 25,4 mm)

UI : *Uniformity Index* : indice d'uniformité de longueur des fibres de coton

ULV : *Ultra low volume*

Vate : valeur agronomique, technologique et environnementale

Exemplaire auteur



Index

- abiotique 29, 35, 107, 123, 135, 169
 abscission 59, 61, 62, 113, 125
Acanthomia horrida 124
 acarien 94, 109, 128, 129, 131, 203
 acidification 88, 89, 91, 100, 187, 194
Acrocercops difasciata 126
Acrosternum acutum 124
 adventice (mauvaise herbe) 43, 44, 71, 72, 77, 101-104, 112, 113, 120, 136, 168
Agonoscelis versicolor 124
 agrégats 57, 96
 aléa climatique 43, 104
 aleurode 110, 122, 131, 136, planche couleur photo 21(a, b)
 alimentation humaine 38, 177
 altise planche couleur photo 27(a, c)
 aluminium 88, 90
 amendement organique voir fumure organique
Amsacta moloneyi 126
 Analyse de cycle de vie 185-191, 193-195
Anomis flava (*A. flava*) 126, 127, 138, 139, 145, planche couleur photo 26(a)
Anomoederus spp. 128
Anoplocnemis curvipes 124, 126, planche couleur p. 24(d)
 anthracnose 130
Aphis gossypii (*A. gossypii*) 36, 120, 121, 123, 138
 apport organique voir fumure organique
Aspavia armigera 124
 assolement 69, 70
Austroasca lybica (cicadelle) 119
 autogame 30
 autosuffisance alimentaire 23
 auxiliaire 136-138, 140, 152-154, 198
Bacillus thuringiensis (Bt) 134, 140, 155-158, 160-166
 bactériose 29, 32, 36, 43, 48, 125, 130, 151
 baculovirus 139, 154
 baisse des rendements 12, 74, 84, 85, 108
 balle 167, 169, 170, 172, 173, 176, 178, 179, 193
barbadense voir *Gossypium barbadense*
 bassin de production 21
Bemisia tabaci (*B. tabaci*) 36, 122, 138
 bilan minéral 80, 81
 bilan potassique 87
 biomasse 35, 54, 56, 74, 88, 98, 100
 biopesticide 131, 140, 156-158
 biotique 29, 36, 61, 107, 123, 135, 160, 169
 bore planche couleur p. 9 (carence)
 bouton floral 27, 52, 61, 63, 110, 112-115, 117, 123, 129
 branche fructifère 27, 124
 branche végétative 27
 Bt voir *Bacillus thuringiensis*
 calcium 88, 91, 208
Caliothrips impurus 129
Campylomma spp. 123
 caractérisation instrumentale 174
 caractéristiques des fibres 173, 176
 carbone 56, 74, 82, 84, 91, 93, 96-100, 106
 carbone du sol 74, 82, 84, 91, 93, 100
 carence 57, 177
 carpelle 35, 64, 65, 117, 168, 171, 197

- CEC (capacité d'échange cationique) 56, 58, 85, 88, 90, 100
- certificat d'obtention végétale (Cov) 39, 45-48
- changement climatique 35, 106, 108, 187, 191, 194
- chenille de la capsule 29, 77, 111, 113, 115, 116, 118, 119, 131, 134, 135, 147, 148, 160
- cidabelle (voir jasside) 119, 120, planche couleur photo 19 (a, b, c)
- classement (qualité des productions, de la fibre) 24, 173, 174, 176
- classification commerciale 173
- Cletus ochraceus* 124
- CO₂ 104, 106, 108
- coefficient de multiplication 41, 42
- coléoptère 94, 97, 109, 128
- collage 136
- Colletotrichum gossypii* 130
- compensation 29, 42, 59, 152
- compétition 77, 101
- composé volatil 115
- contamination 130, 139, 167, 170, 176
- coproduit 55, 167, 176, 177
- couleur 26, 27, 37, 57, 62, 72, 110, 112, 114, 115, 117, 120, 129, 135, 151, 174, 175, 182
- couvert végétal 37, 51, 54, 72
- Cov voir certificat d'obtention végétale
- Creontiades pallidus* 123
- croisement 25, 30, 31, 40
- croissance 7, 52, 54, 59, 60, 61, 63-65, 68, 79, 95, 107, 117, 120, 124, 129, 131
- croissance indéterminée 27, 59, 61
- cut-out 60, 62
- crysomèle 128, planche couleur photo 27
- cycle de vie 185-193, 195
- déficience minérale 57, 58, 85, 88
- défoliation 136
- délintage 38, 43, 44, 177
- densité de semis 54, 71, 72, 73, 108, 135
- déterminisme génétique 30, 32
- dévaluation du Franc CFA 12
- DHS (distinction, homogénéité, stabilité) 39, 47, 48
- diagnostic foliaire 58, 88
- Diparopsis watersi* (*D. watersi*) 115, 116, 134, 138, 139, 145, planches couleur photos 15, 16
- diploïde 25, 26
- dose d'engrais 87, 91
- droits de propriété intellectuelle 45
- durée du cycle 51, 56, 59-61, 123
- Dysdercus fasciatus* 124
- Dysdercus* sp. 124, 125, planche couleur photo 24(c)
- Dysdercus voelkeri* 124
- Earias* spp. 113-116, 124, 135, 138, 145, planches couleur photos 13, 14
- Earias biplaga* 113, 139
- Earias insulana* 113, 139
- eau 27, 44, 45, 53, 55-58, 73, 95, 97, 106, 108, 136, 140, 149, 150, 151, 156, 172, 173, 177, 192, 194, 195
- Earias biplaga* 113, 139
- échantillon 44, 45, 173, 174
- écoconception 182, 190
- égrenage 7, 8, 16, 20, 23, 29, 37, 38, 40, 43, 44, 48, 49, 65, 168-174, 176, 193
- égreneur (égreneuse) 37, 43, 70, 169, 172, 173
- éléments minéraux 27, 35, 55, 57, 58, 86, 88, 101, 136



- engrais 11, 23, 58, 70, 71, 74-83, 85-87, 90, 91, 161, 162
- engrais organique voir fumure organique
- enherbement 37, 101, 102, 104
- enracinement 55, 57
- enrouleuse des feuilles 126
- entomofaune 148
- entomopathogène 138, 140, 154
- épigée 94
- eutrophisation 187, 194
- évaporation 53, 56, 57, 106
- exportation 7, 18, 19, 23, 70, 87, 90
- extensification 12, 74
- faculté germinative 45
- faune auxiliaire 136, 137, 148, 152, 153
- faune auxiliaire entomophage 137
- fertilité du sol 53, 55-58, 74, 82, 84, 85, 90, 92, 93, 97-99
- fertilisation minérale 58, 74, 76-79, 82, 84, 88, 90-92, 99, 108
- fertilisation organique voir fumure organique
- filature 37, 121, 176, 178, 179, 180
- finesse 37, 59, 64, 66, 68, 69
- fonte de semis 130, 151
- fleur 27, 29, 34, 40, 52, 60-62, 64, 110, 114-117, 128, 153
- floraison 35, 48, 107, 112, 117, 124, 153
- fractionnement des récoltes 68
- fumagine 111, 121
- fumure minérale voir fertilisation minérale
- fumure (amendement, apport, fertilisation) organique 74, 84, 85, 98, 99, 108
- fusariose 36, 43, 130
- galerie 95, 96, 128
- gaz à effet de serre 104, 106
- génotypage 34
- Gonocephalum simplex* 128
- Gossypium barbadense* (*G. barbadense*) 26, 29, 122, planche couleur photo 1
- Gossypium hirsutum* (*G. hirsutum*) 25, 26, 29, 36, 122
- Gossypium* 25
- gossypol 8, 27, 28, 128, 177, 178
- grade 174, 175
- Graphostethus servus* 124
- groupement de producteurs 13, 21, 70, 171
- Haritalodes derogata* 126, planche couleur photos 25(b, c)
- Helicoverpa derogata* (*H. derogata*) 126, 139
- Helicoverpa armigera* (*H. armigera*) 112, 114-116, 135, 138, 139, 145, 148, 149, planche couleur photos 11, 12
- Helopelthis schoutedeni* 123, planche couleur photo 23
- herbicide 76, 77, 79, 81, 102-104, 155, 158
- homologation 47
- horizon (du sol) 86, 87
- impact (environnemental) 11, 71, 95, 137, 153, 155, 161, 165, 166, 185-189, 191
- impact (qualité des fibres) 168, 170, 182
- impact (socio-économique) 21, 194, 195
- impact environnemental 191
- indéterminé 52, 61, 138
- indice de récolte 35
- insecte piqueur suceur 119
- iule planche couleur photo 28(c)
- Isaniris decorsei* 128

- itinéraire technique 11, 32, 34, 35, 43, 50, 70-72, 76, 79, 152, 161-163, 165
 jachère 89, 90, 99
Jacobiella fascialis (cicadelle) 120
 jasside (cicadelle) 29, 36, 119, 131-133, 135, 136, 152, 160
koby (*Carapa procera* D.C.) 140, 195
 laboratoire de caractérisation 173
 LAI (*Leaf Aera Index*) 54, 72
 législation 38, 39, 46
Leptoglossus spp. 125
Leptoglossus australis 124
Leptocoris hexophthalma 124
 linter 38, 65
Liriomyza sativae 129
 loge 65, 116, 119, 125, 169
 LOIC 146
 lumen 66, 68
 lutte biologique 131, 137, 139, 153, 154, 156, 158
 lutte chimique 140, 142, 148, 152, 156, 158
 lutte étagée ciblée 142-144, 146, 147, 189
 macrofaune 94-97
 magnésium 85, 87, 88, 91, planche couleur photo 7 (carence)
 manganèse (toxicité) planche couleur photo 10
 maladie bleue 36, 121, 129, planche couleur photo 20(d)
 maladie de Parakou 129
 marge du producteur 74, 79
 matière organique du sol (MOS) 55-58, 74, 80, 82-85, 88, 91, 93, 95, 98, 100
 maturité 37, 49, 59, 66, 68, 69, 107, 122, 167, 169, 195
 mauvaise herbe voir adventice
 mésofaune 56, 94
 microfaune 56, 94
 micronaire 37, 49, 65, 66, 68, 69, 175
 miellat 136, planche couleur photo 20(c)
 minéralisation (de la matière organique) 55, 56, 58, 82, 88, 93-95, 98-101
 miride 123, 124, planche couleur photo 22 (a, b)
Mirperus jaculus 124
 mix électrique 190
 MOS voir matière organique du sol
 mosaïque 36, 122, 129, planche couleur photo 21(c)
m'péku (*Lannea acida* A. Rich) 140
 mulch 107, planche couleur photo 6
 multiplication 38, 41, 42, 44, 47, 102, 104, 136, 155, 169
 multivoltin 111
neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) 140, 195
 nettoyage (coton-graine, fibres) 168, 170-173, 179, 180
Nezara viridula viridula 124, planche couleur photo 24(a)
Nisotra spp. 128
 noctuelle 112, 126, 127, 150, 153
 nutrition minérale 55, 57, 58, 60, 62, 63, 99
 nutrition organique 55
Odontopus sexpunctatus 124
 OGM voir organisme génétique modifié
Oligonychus gossypii 128
 organisme génétiquement modifié (OGM) 43, 50, 155, 156, 161
Orosius cellulosus 120
Oxycarenum hyalinipennis Costa 124, 125, planche couleur photo 24(b)



- paillage 56, 72, 91, 100
Pectinophora gossypiella (*P. gossypiella*)
 16, 116, 117, 119, 131, 136, 139, 145,
 planche couleur photo 17
 phosphore assimilable 56, 96
 photopériode 27
 photosynthèse 63, 65, 82, 106, 120, 136
Piezodorus pallescens 124
Piezodorus spp. 125
Piezotrachelus varius 128
 pilosité (de la feuille) 29, 36, 120,
 126, 131-133, 152, planche couleur
 photo 29
 plan semencier 41
 pluviométrie 54, 72, 104, 106, 107, 108
Polyphagotarsonemus latus 129,
 planche couleur photo 27(a, b)
 polypropylène 168, 172
 potassium 57, 85, 87, 88, 90, 123,
 planche couleur photo 8 (carence)
 potentialité culturale 51
 potentialité théorique 51, 54
 pourriture 111, 117, 119, 124, 125,
 130, 131
 pré-base voir semences de pré-base
 précocité 31, 34, 48, 49, 59, 61, 152
 préservation de l'environnement 142
 processus de libéralisation (économie)
 13
 programme de protection 141
 protection intégrée 131, 132
 protection phytosanitaire 11, 76-80,
 127, 160
 psyllose 36, 129
 puceron 36, 110, 120-122, 131, 136,
 139, 152, 160, planche couleur
 photo 20(a, b)
 pulvérisateur 149, 150
 pureté spécifique 5
 pyrèthroïde (insecticide) 11, 29, 112,
 115, 135, 148, 149, 160
Quantitative Trait Loci (QTL) 34
 racine 27
 ravageur secondaire 120, 129
 rayonnement 54, 63, 72, 100, 106, 108
 récolte 24, 29, 34, 35, 37, 39, 42, 45, 46,
 57, 69, 86, 87, 100, 102, 117, 132,
 135, 136, 167-170, 172, 193
 redevance 160, 161
 rendement égrenage (ou rendement
 fibre) 37, 48, 59, 65
 réserves minérales 57, 58, 86, 87, 90
 résidus de culture 56, 57, 74, 82, 84,
 87, 88, 90-92, 98, 100
 résistance (génétique du cotonnier
 aux ravageurs, aux maladies, aux
 stress) 29, 32, 35, 36, 45, 48, 49, 120,
 131, 133, 153, 155, 158, 159
 résistance (apparition de résistance
 chez les ravageurs) 11, 112, 140,
 148, 149, 161, 163, 165
 résistance (de la fibre) 37, 168, 175
 respiration 105, 108
 restitution organique 87, 90, 92, 98
 ruissellement 56, 106, 107
 rusticité 61
 santé humaine 142, 185, 187
 sarclage 102, 103
Schizonycha africana 128
Seed Index 37, 49, 59, 64, 65
 sélection assistée par marqueurs 34
 semence 21, 30, 31, 33, 38-47, 70, 116,
 131, 151, 152, 160, 161, 163, 165,
 166, 177, 192, 193
 semences de pré-base 40
 semis direct 56, 72
 semis précoce 29, 58, 77, 101, 134, 136

- Spodoptera littoralis* (*S. littoralis*) 124, 126, 127, 139, 145, planche couleur photo 26(b, c)
- stress hydrique 53, 59, 68, 106, 107, 123
- stress thermique 53, 59, 106
- structure du sol 56, 57, 88, 96
- subvention 11, 19, 20, 23, 80, 141
- Syagrus calcaratus* planche couleur photo 27 (b)
- Taylorilygus vosseleeri* (miride) 123, planche couleur photo 22(b)
- Tenebrio guineensis* 128
- termite 56, 94-97
- Tetranychus urticae* 128
- tétranyque 128
- tétraploïde 25, 26
- textile 7, 16, 25, 26, 37, 87, 167, 168, 174, 176, 178-180, 182
- Thaumatotibia leucotreta* (*T. leucotreta*) 118, 145, planche couleur photo 18
- toxicité 88, 156, 187, 194, 198
- toxine 134, 140, 155-157, 161, 162, 165, 166
- traitement calendaire 142, 143
- transgénèse 155
- transpiration 106
- très bas volume (TBV) 150, 151
- thrips 129
- types de vente 24, 174
- ultra bas volume (UBV) 149, 151
- Upov 39, 46, 47
- valeur agronomique et technologique (Vat) 48, 49
- variabilité 31, 68, 72, 91, 106, 114, 162, 165, 177, 178
- variabilité génétique 31
- ver rose 116, 117, 119, 136
- ver de terre 56, 94-97
- verticilliose 36, 130
- vigueur germinative 38
- virescence florale planche couleur photo 19(d)
- volatilité (des prix) 18
- Xanthodes graellsii* planche couleur photo 25(a)
- Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum* 130

Photo de couverture :

Surveillance des champs de cotonnier avant la récolte, essais de N'Tarla au Mali en 2015. (©Mamadou Togola)

Édition : Claire Parmentier (Presses agronomiques de Gembloux),
Claire Jourdan-Ruf (Éditions Quæ)

Mise en pages : Hélène Bonnet

Impression : CPI Books GmbH, Allemagne

Dépôt légal : mars 2016



Cet ouvrage traite des conditions et des modes de gestion de la culture du cotonnier, plus particulièrement en Afrique, de la semence à l'utilisation des produits, en se reposant sur les résultats de recherche. Des recommandations pratiques sont formulées à l'intention de tous les acteurs de la filière coton. Ainsi, l'intérêt d'améliorer la production du cotonnier et sa qualité est abordé sous tous les aspects de la culture par des spécialistes dans une approche systémique. Cet ouvrage propose au lecteur professionnel une aide à la décision en agronomie et en gestion des systèmes de culture, sans oublier les aspects phytosanitaires. Il informe également sur l'impact du changement climatique, sur les modalités de la transformation et de l'usage des produits et coproduits. Enfin, l'Analyse de cycle de vie appliquée à l'évaluation environnementale des systèmes cotonniers enrichit particulièrement la manière d'organiser et d'optimiser les différentes étapes de cette production d'importance mondiale.

L'objectif de cet ouvrage est de proposer des pratiques agricoles et des recommandations pour l'avenir, contribuant ainsi à améliorer la culture du cotonnier et la qualité de ses produits. Rédigé dans un langage accessible, cet ouvrage est destiné à tous les professionnels de terrain.

Michel Crétenet, ingénieur agronome, pédologue, spécialiste des systèmes de culture cotonniers d'Afrique subsaharienne, a occupé plusieurs postes de responsabilité et d'animation scientifique de recherches pluridisciplinaires en Afrique et en France. Il est un expert reconnu dans de nombreux pays d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine.

Jean-Paul Gourlot, chercheur au Cirad, est spécialiste de la métrologie textile. Il est membre de divers groupes de travail et projets internationaux, dans le domaine de la caractérisation technologique des fibres de coton selon leur histoire et leur usage, du champ au textile.



les
presses
agronomiques
de Gembloux

éditions
Quæ

Éditions Cirad, Ifremer, Inra, Irstea
www.quae.com

25 €

ISBN : 978-2-7592-2379-4



9 782759 223794

Réf. : 02501
ISSN : 1778-6568