

Les plantes d'intérêt textile (Le coton)

Le cotonnier représente la plante à fibre la plus cultivée au monde. Le coton est surtout produit pour sa fibre. Les utilisations sous forme de tissus ou de tricot, mais aussi de fil et de fibre, sont nombreuses. La première d'entre elle reste la confection destinée à l'habillement, qui consomme plus de 50% de la production mondiale.

Le cotonnier est une plante vivace mais qui ne peut être exploitée économiquement qu'en culture annuelle du fait d'une part des contingences climatiques et d'autre part de la pullulation des parasites qu'entraînerait sa pérennité. Principalement cultivé pour ses fibres, le cotonnier produit des graines qui sont aussi importantes pour leur valeur alimentaire.

1 - Classification et Origine des espèces cultivées

Le cotonnier est une dicotylédone appartenant à l'ordre des Malvales et à la famille des Malvacées. Dans cette famille, le genre botanique *Gossypium* L. rassemble 50 espèces de cotonniers répertoriées dont 45 sont diploïdes et 5 tétraploïdes. De nouvelles espèces continuent d'être découvertes.

Le genre *Gossypium* serait issu d'un phylum ancestral, aujourd'hui disparu, qui se serait différencié il y a plus de cent millions d'années en plusieurs groupes génomiques sous l'influence de la pression de sélection induite par la dérive des continents. Huit groupes génomiques désignés par les lettres majuscules A, B, C, D, E, F, G et K, comprenant des espèces de cotonnier diploïdes, ($2n=2x=26$ chromosomes) sont à ce jour reconnus. Par une hybridation naturelle entre espèces des génomes A et D suivie d'un doublement spontané du nombre de chromosomes, un groupe génomique allo-tétraploïde ($2n=4x=52$ chromosomes) désigné par le symbole (AD) est apparu, il y a environ un million d'années.

Aujourd'hui, quatre espèces sont cultivées : deux espèces diploïdes, *G. arboreum* et *G. herbaceum* (coton indien, fibres épaisses et courtes), ainsi que deux espèces tétraploïdes, *G. barbadense* (coton égyptien, fibres longues et fines, 5% de la production mondiale) et *G. hirsutum* (fibres intermédiaires, 90% de la production mondiale).

2. Description morphologique des cotonniers cultivés

Parmi les plantes cultivées, le cotonnier est celle qui a la morphologie la plus complexe due au caractère indéterminé de sa croissance (figure 1). Cette complexité, se caractérise par un polymorphisme marqué non seulement entre les différentes espèces, mais aussi à l'intérieur d'une même espèce sous l'influence des facteurs climatiques. La croissance indéterminée du cotonnier se justifie par le fait que la phase de fructification n'est pas séparée de celle de croissance végétative.

L'architecture des cotonniers repose nécessairement sur des principes de corrélations morphologiques.

La partie souterraine du cotonnier se caractérise par un système racinaire de type pivotant formé d'une racine principale ou pivot d'où partent des ramifications latérales se terminant par une zone pilifère. L'alimentation hydrique et minérale, pour l'essentiel, est assurée par les racines.

La partie aérienne supporte la récolte et se compose d'une tige principale et des rameaux naissant aux noeuds de ce dernier. Parry (1982), établit une différenciation entre les ports des cotonniers qui, suivant les espèces, les variétés et les types de cultures, peuvent être du type pyramidal, élancé, sphérique, cluster ou en gobelet.

Les racines se développent avec une grande rapidité lorsque les conditions de température et d'humidité sont favorables. La croissance radriculaire, après la levée, s'effectue autour du pivot dont la profondeur peut atteindre trois mètres. Cette croissance est liée à la nature du sol. Carmi et Shalhevet (1982) rapportent que la productivité du cotonnier est en relation directe avec la colonisation du sol par les racines. Ainsi la restriction de la croissance des racines conduit au développement de plantes caractérisées par de courts entre-noeuds et par un nombre réduit de feuilles. Benedict (1984) explique cela par le fait que si la racine pivotante est incapacitée par un obstacle, les racines latérales se développent mais restent superficielles rendant ainsi le cotonnier sensible aux variations d'humidité.

Le développement aérien du cotonnier se fait suivant un schéma régulier et ordonné. Les noeuds portés par la tige principale sont le point de départ de deux types de rameaux:

- Les branches végétatives qui se développent sur les noeuds de la base au-dessus du noeud cotylédonaire. Elles ont une croissance monopodiale et une structure semblable à la tige principale mais dont les bourgeons axillaires ne donnent que des branches fructifères.
- Les branches fructifères qui sont formées de segments successifs en zigzag et se développent à partir du 5e au 8e noeud de la tige principale en suivant une croissance sympodiale (figure 1). Le méristème apical des branches fructifères se termine par une fleur, après avoir produit une feuille tandis que la production des feuilles est continue chez les branches végétatives jusqu' à la fin de la croissance du végétal.
- Les feuilles sur une même plante présentent un polymorphisme assez grand et se composent d'un pétiole se ramifiant en nervures qui soutiennent le limbe. Le limbe est du type palmé avec des lobes plus ou moins échancrés. Les feuilles dont les fonctions se résument à l'assimilation, respiration, transpiration ainsi que la réserve peuvent être palmatilobées, palmatipartites ou palmatiséquées. Elles sont en outre le reflet assez fidèle d'un bon équilibre hydrique du cotonnier et constituent un élément d'appréciation de l'état des échanges avec le sol par le contrôle de la nutrition.

Le cotonnier produit à la fois des glandes externes et internes. Les glandes externes ou nectaires sécrètent un suc attirant certains insectes et sont présentes sur la nervure principale des feuilles et dans les fleurs alors que les glandes internes sont observées sur tout le plant. Ce

sont des sacs ovoïdes qui libèrent dans leur enceinte des composés chimiques dont le gossypol qui est un pigment affectant l'utilisation des graines pour l'alimentation humaine.

Le cotonnier est autogame (figure 2) mais peut, dans certaines conditions de culture, atteindre 30% d'allogamie à cause de la densité des insectes pollinisateurs. La floraison progresse du bas vers le haut et de l'intérieur vers l'extérieur de la plante suivant une loi très rigoureuse. Parry (1982) et Benedict (1984) soulignent que l'écart de progression de la floraison d'un noeud au suivant sur la même branche fructifère encore dénommé Intervalle de Floraison Horizontale (IFH) est de l'ordre de six jours alors que celui de progression verticale de la floraison d'une position sur la branche à la position identique sur la branche immédiatement supérieure (Intervalle de Floraison Verticale) se situe autour de deux jours. Le développement des organes floraux est fortement influencé par la température. Les boutons floraux initiés sont importants mais seulement une partie forme des fleurs dont la moitié à peu près se transforme en capsules. Cette abondante initiation florale confère à la plante une forte capacité de compensation en cas de stress hydrique.

- Le fruit du cotonnier est une capsule constituée de 3 à 5 loges contenant chacune 6 à 8 graines recouvertes de fibres. La forme et la grosseur des capsules sont caractéristiques d'une espèce et d'un cultivar. Les capsules mesurent 4 à 8 cm de long sur 4 cm de diamètre en leur renflement maximum et sont sphériques, ovoïdes ou piriformes.

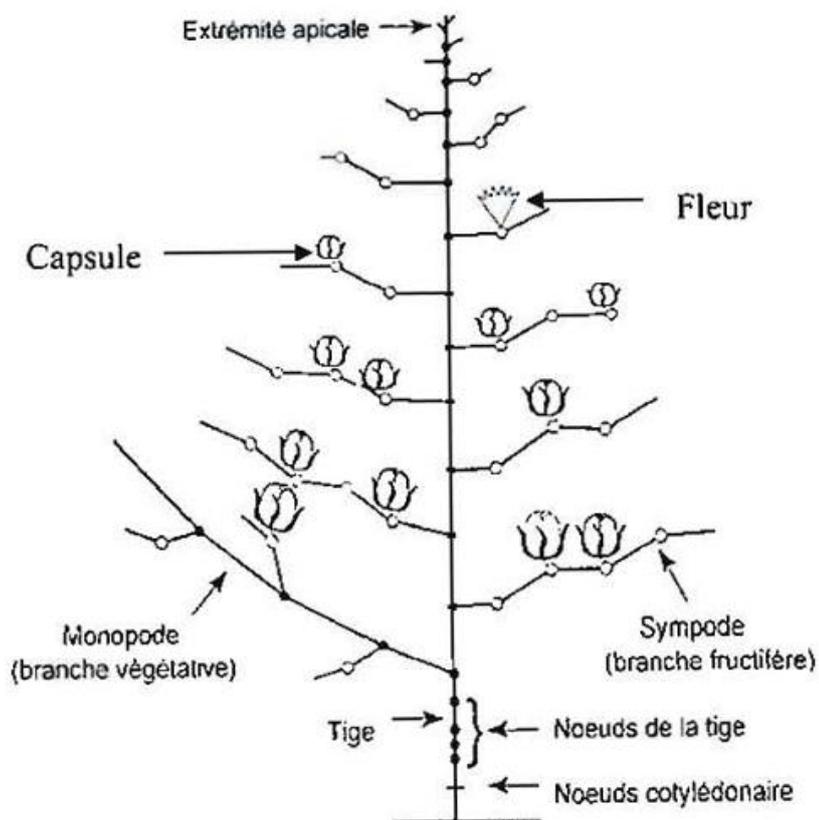


Figure 1. Structure schématique d'un plant de cotonnier montrant les noeuds de la tige principale, une branche végétative, les branches fructifères, les capsules et une fleur.

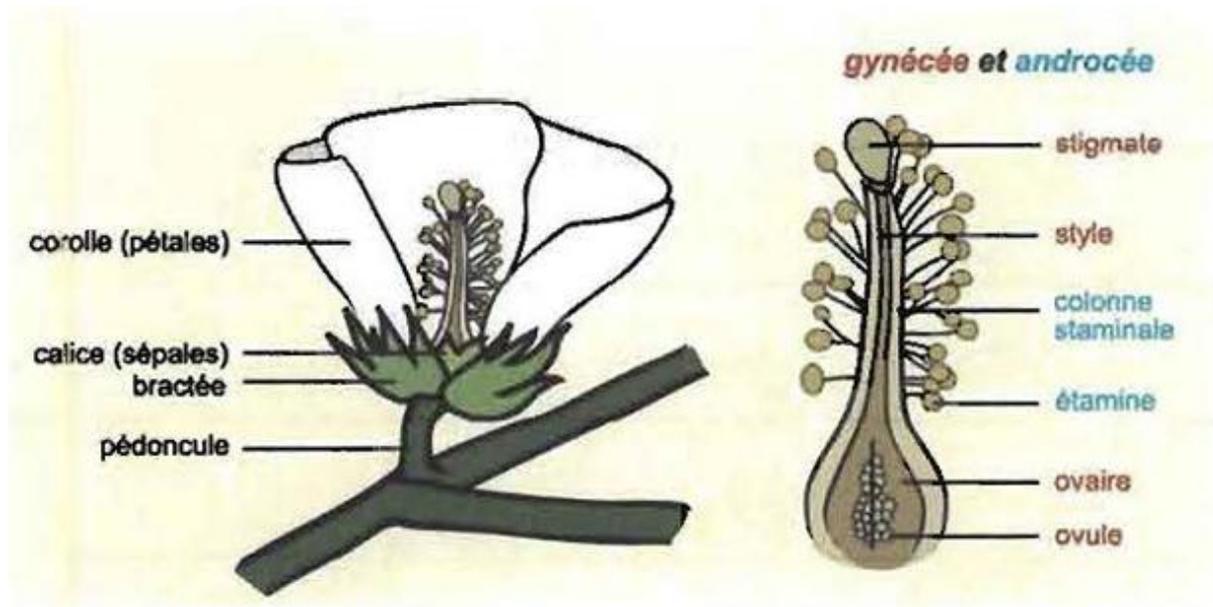


Figure 2. Structure d'une fleur de cotonnier indiquant la présence simultanée d'organes reproducteurs mâle (étamines) et femelle (pistil)



Photo 1: Capsules vertes



Photo 2 : Fibre de coton dans une capsule déhiscente



Photo 3: Feuilles d'Okra

2.1. La graine de coton

La capsule est constituée de 3 à 5 loges ; chaque loge peut contenir de 6 à 9 graines. Les graines sont de forme ovoïde (Figure 3) et peuvent avoir des tailles différentes selon les variétés et les conditions de culture. La taille des graines est définie par un indice qui correspond à une masse de 100 graines ou « seed index ». La graine est constituée d'une amande (50 à 55% de son poids, enveloppée d'une coque de couleur brun-foncé ou noire (40 à 45% du poids de la graine). Selon les espèces, la coque peut être recouverte de linter ou duvet. Les graines, comme la majorité des organes aériens du cotonnier, sont naturellement pourvues de glandes à gossypol, qui est un pigment toxique pour les animaux monogastriques et pour l'homme.

La production de graines représente entre 55 et 65 % de la récolte de coton-graine. Cependant, sa valeur marchande atteint à peine 15% de celle de la récolte. Tous les constituants de la graine peuvent être séparés successivement et valorisés pour des usages variés.

Le duvet (linter) est récupéré à l'aide de machines appelées « délinteuses ». Il est exploité dans la fabrication de coton hydrophile, de rembourrage pour matelas, ou comme matière première pour diverses industries chimiques. Les coques sont ensuite séparées des

amandes par une opération de décorticage et sont généralement utilisées comme combustible. Les amandes restantes servent à l'extraction d'huile comestible; les tourteaux qui en résultent, riches en protéines, sont utilisés pour l'alimentation des ruminants. La production d'huile de coton pendant la campagne 1994-1995 s'est élevée à 3,8 millions de tonnes et celle de tourteaux à 14,4 millions de tonnes.

La création de variétés de cotonnier sans glandes à gossypol (dits « glandless ») a ouvert la voie, pendant quelques années, à une exploitation des graines dans l'alimentation humaine. De nouvelles possibilités de valorisation de la graine de coton sont également étudiées notamment dans le domaine de la fabrication de matériaux biodégradables.

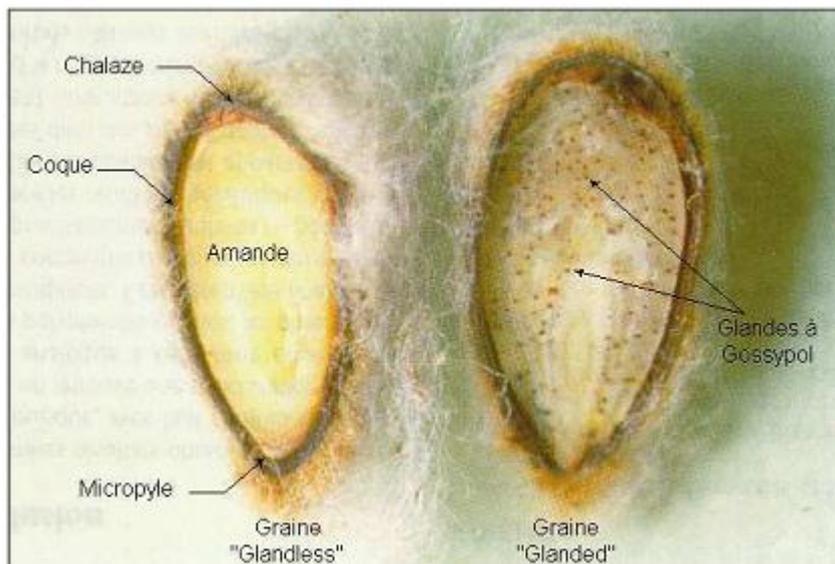


Figure 3 : Coupe longitudinale de deux graines de coton, glanded et glandless

2.2. La fibre de coton et sa transformation

2.2.1. Formation et structure

La fibre de coton est unicellulaire ; elle se développe à partir d'une cellule de l'épiderme de l'ovule (appelée graine après maturation). Sa formation commence avant l'anthèse ou le jour même de l'anthèse par la différenciation de quelques cellules épidermiques au niveau de la chalaze (partie arrondie de la graine). Le processus s'étend ensuite vers le micropyle (extrémité opposée de la graine) et s'intensifie considérablement après pollinisation.

(Joshi, Wadhwani et al., 1967) rapportent que l'initiation et le développement des fibres avant anthèse montre que leur formation n'est pas complètement dépendante de la fécondation et de la fertilisation de l'ovule. D'où la présence de fibres sur des graines non fécondées ou avortées (motes).

les poils qui se forment dans les 5 jours après la fécondation donneront naissance aux fibres (dites lint ou soies) qui représentent le principal intérêt commercial de la culture cotonnière. Les poils qui se forment ultérieurement composeront le duvet de la graine,

ou « linter », d'une longueur n'excédant pas quelques millimètres. On dénombre environ 10 000 fibres ou lint et entre 5 000 et 10 000 linters par ovule. Les fibres issues d'une même graine ont une longueur variable. Cette variabilité serait liée au moment d'initiation de la fibre. Les fibres les plus courtes sont celles dont la différenciation a été la plus tardive.

Après une rapide expansion diamétrale (entre 12 et 25 μm), les fibres, en forme de tubes creux, se développent en s'allongeant. Elles atteignent leur développement définitif entre le 18^{ème} et le 25^{ème} jour de croissance (Figure 4). À ce stade, la paroi de la fibre est composée de cellulose amorphe ; elle est encore mince et constitue la membrane primaire. Cette membrane possède une structure orientée transversalement conservée durant toute la période de développement de la fibre.

Le développement longitudinal de la fibre étant achevé, l'épaississement interne de la paroi cellulaire débute alors par le dépôt successif de couches cellulodiques de structure fibrillaire spiralée constituant la membrane secondaire. La cellulose ne remplit jamais complètement la fibre ; il reste un espace au centre : le lumen (Figure 5). La phase d'épaississement s'achève au bout de 25 à 35 jours ; l'épaisseur de la paroi atteint environ 5 μm à l'ouverture de la capsule (Figure 4). De cette épaisseur dépend la maturité de la fibre ; dans le cas d'un développement perturbé (facteurs environnementaux et/ou variétaux), la paroi reste mince ($< 2 \mu\text{m}$) et la fibre est dite immature (Figure 6).

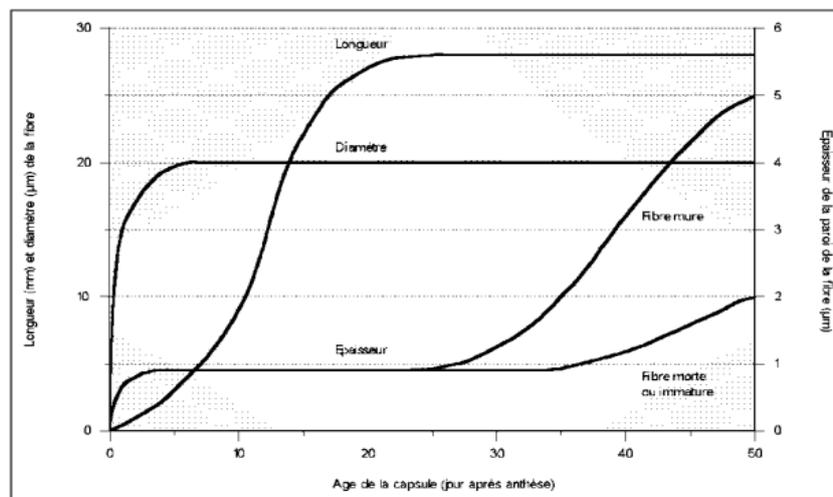


Figure 4 : Développement de la fibre de coton à partir de l'anthèse

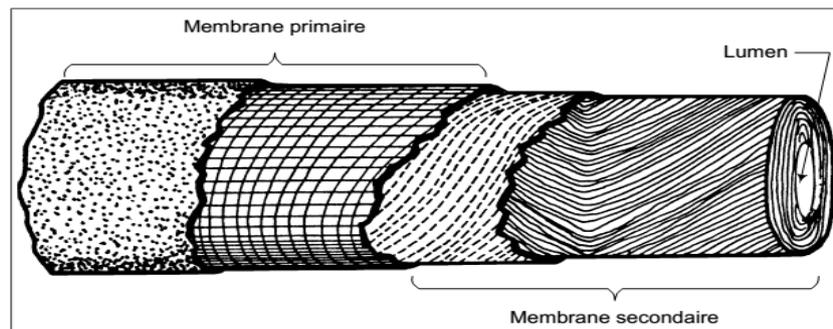


Figure 5 : Coupe longitudinale schématique d'une fibre de coton

Tous ces développements sont dépendants des conditions générales de nutrition des plants de cotonnier, des attaques de la culture par les insectes et les maladies. Ainsi les dépôts de cellulose ne sont pas réguliers et les fibrilles n'ont pas des longueurs et des structures identiques.

A l'ouverture de la capsule, les fibres sèchent, s'aplatissent et se vrillent (Figure 6, Figure 7). A maturité, elles sont constituées d'environ 95% de cellulose ; d'autres constituants non cellulosiques (substances minérales, cires, protéines, acides pectiques et autres acides organiques) se localisent dans la membrane secondaire et dans le lumen.

Les différences de structure induisent des tensions qui s'équilibrent avant et après l'ouverture de la capsule. A ce stade, l'eau en excès est éliminée dans l'atmosphère ambiante. Toutes les tensions accumulées s'équilibrent alors en induisant un vrillage et une frisure des fibres. Notons que les étapes de croissance de la fibre sont communes (aux durées près) à toutes les espèces de cotonniers cultivés.

La qualité du produit textile fini (filé ou étoffe) est directement liée à celle des fibres. Dès lors, la connaissance des caractéristiques physiques des fibres est un enjeu essentiel pour l'industrie cotonnière. Sachant la grande variabilité des critères de qualité de la fibre de coton et la sensibilité des équipements industriels à cette hétérogénéité, une caractérisation des fibres, suivie d'une classification, est nécessaire pour la constitution de lots homogènes pouvant être transformés dans les meilleures conditions possibles.

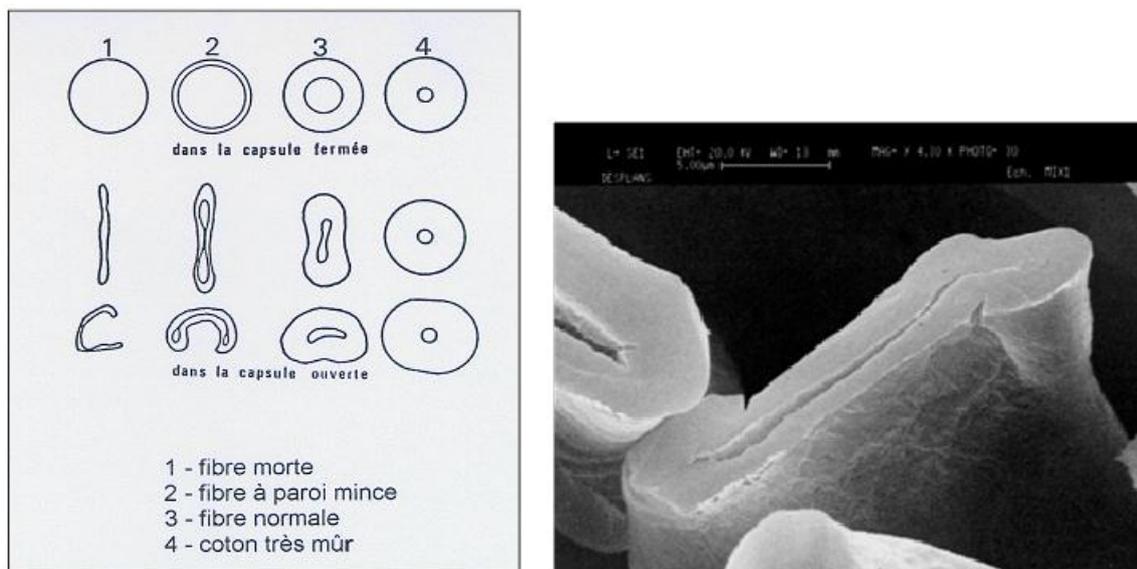


Figure 6 : Coupe schématique de fibres immatures à très mûres ; dessèchement et aplatissement des fibres après ouverture de la capsule.

Figure 7 : Vue microscopique de sections de fibres mûres

Cette classification, ou classement, détermine la valeur marchande des lots de balles de fibre de coton. Elle est effectuée sur la base de critères de qualité déterminés à partir des échantillons de fibres prélevés aux cours de l'égrenage ou sur la balle après égrenage.

2.2.2. Les différentes étapes de la transformation de la fibre

Chaque étape de transformation du coton-graine agit sur la qualité des fibres de coton, qui a une incidence sur la qualité et la capacité des transformations ultérieures. Aussi, comme les normes ISO 9000 le requièrent, chaque intervenant dans la filière doit s'assurer de la qualité des matières premières qu'il acquière (en entrée) et de la qualité des produits qu'il manufacture (en sortie).

L'étude de l'organisation de la filière textile (Figure 8, extraite de (Gourlot, 1999)) montre qu'un nombre important d'étapes de transformation est appliqué aux matières premières avant de parvenir chez le consommateur final. Le consommateur final attend des 'qualités' spécifiques pour chacun des produits manufacturés.

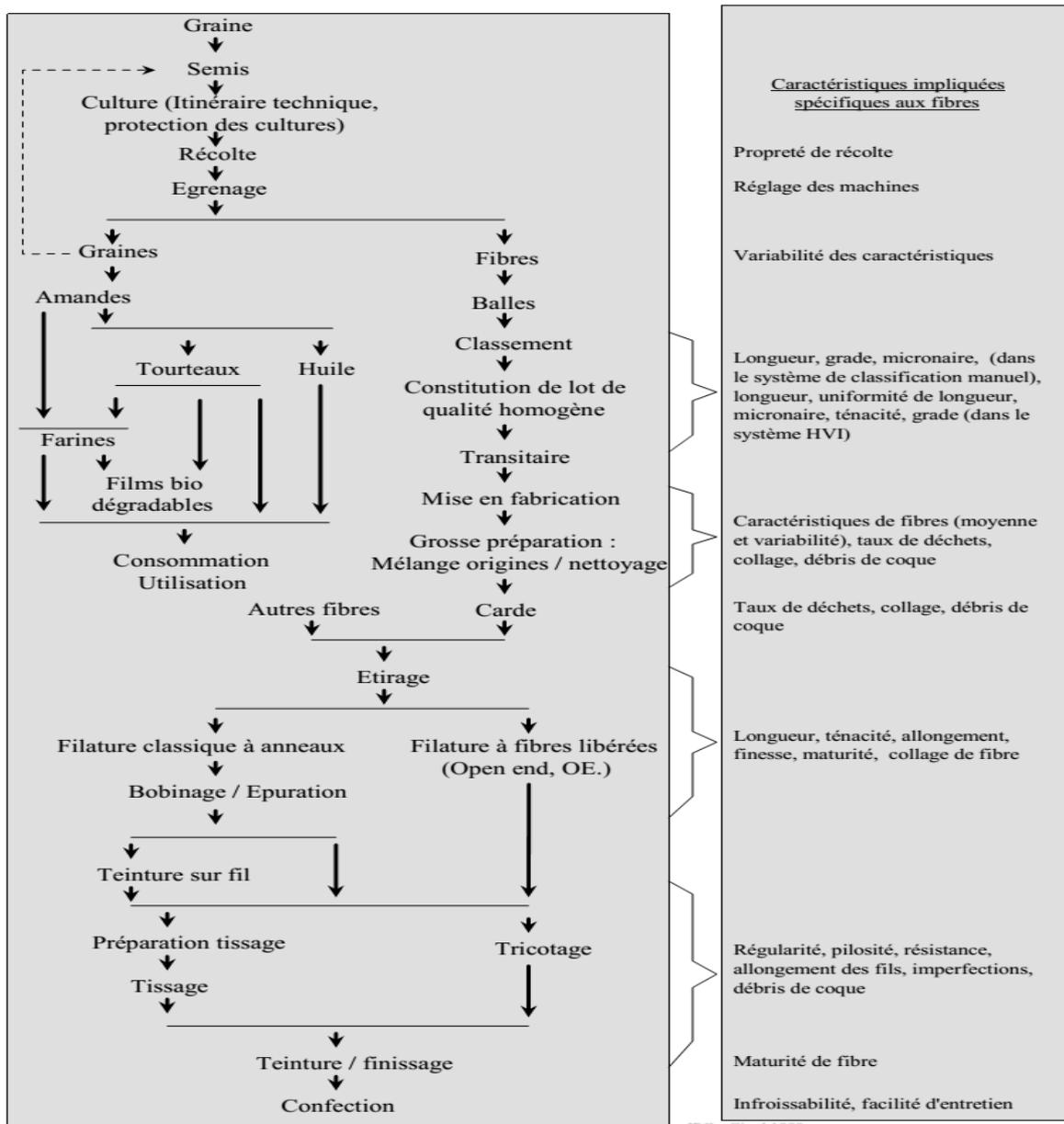


Figure 8 : Schéma de l'organisation de la filière textile

Les étapes importantes en termes de caractérisation des fibres débutent dès la fin de l'égrenage quand les fibres sont compressées en balles d'environ 225 kg. A ce moment, un ou plusieurs échantillons sont prélevés, généralement avec un emporte-pièce, pour constituer des échantillons nommés 'échantillons au sabot'. Ceux-ci sont transférés vers un laboratoire où une caractérisation des fibres est réalisée soit manuellement et visuellement soit de manière instrumentale.

En fonction des résultats d'analyse des échantillons, le producteur regroupe les balles de fibres par qualité homogène selon la demande du transitaire.

Les balles sont alors expédiées vers les lieux de transformation dont la chaîne se présente comme suit.

2.2.2.1. La filature

Cette première étape de la transformation permet de passer des flocons de fibres (présentant une structure très désorganisée) au fil (de structure linéaire et cohérente).

La fibre passe successivement par cinq étapes :

- l'ouverture et le mélange des balles en fonction de la qualité du fil attendu,
- le nettoyage plus ou moins complet des éléments non fibreux d'origine végétale, organique ou minérale,
- le cardage qui réalise un nettoyage plus poussé et individualise les fibres par l'action de fines dentures, et produit un voile puis un ruban de carde,
- l'étirage qui homogénéise et aligne les fibres,
- la filature proprement dite, donne un nouvel étirage pour affiner encore le ruban, puis, une torsion pour apporter la cohésion et la structure du fil. Le fil fabriqué est renvidé sur un support (bobine). Les procédés mis en œuvre lors de cette étape sont principalement la filature à anneau (ring spinning) et la filature à rotor, dite à bout libéré (open-end spinning). D'autres techniques existent, mais elles sont moins largement répandues.
- l'ourdissage, durant lequel plusieurs milliers de fils sont parallélisés et enroulés sur un cylindre pour former la future chaîne ;
- l'encollage, au cours duquel ces fils transitent par un bain d'amidon ou assimilés puis sont séchés pour réduire leur pilosité et les frictions lors du tissage ;
- le tissage proprement dit permet d'insérer la trame dans la largeur de la chaîne ; les métiers les plus rapides imposent de fortes contraintes aux fils. Ceux-ci doivent alors posséder des caractéristiques de résistance et d'uniformité adéquates en lien avec les caractéristiques intrinsèques des fibres de coton.
- le tricotage consiste à créer des boucles grâce à des aiguilles à partir d'un fil continu, et à les joindre entre elles pour former une étoffe. Le tricotage demande une moindre

préparation que le tissage puisque le fil écreu ne subit que l'adjonction de cires ou de lubrifiant, afin de réduire les frottements.

2.2.2.2. Le tissage et le tricotage

Le fil brut, issu de filature, subit plusieurs transformations : tissage ou tricotage, puis finition. La mise en œuvre de chacune de ces transformations est fonction de l'utilisation finale du produit textile.

Le tissage permet la fabrication d'une étoffe par l'entrecroisement de fils de chaîne (dans le sens de la longueur) et de fils de trame (dans celui de la largeur). Cette opération se déroule en trois étapes :

2.2.2.3. La finition et la confection

La finition, appliquée aux étoffes brutes, leur permet d'acquérir des caractéristiques adaptées à leur utilisation finale. Il s'agit :

- du brûlage, du désencollage, du décapage et du blanchiment, qui permettent respectivement d'éliminer la pilosité, de dissoudre l'amidon, de détruire les cires et autres impuretés, et de blanchir l'étoffe ;
- de la mercerisation, qui provoque un gonflement des fibres dont la section s'arrondit et qui prennent un aspect lustré. Les tissus mercerisés sont plus compacts et plus résistants que ceux n'ayant pas subi cette opération ;
- de la teinture et de l'impression : la première permet d'appliquer une couleur uniforme au tissu (ou directement au fil), la seconde permet la réalisation de motifs plus ou moins complexes ; la prise de couleur du tissu repose sur l'affinité du colorant avec certaines parties de la cellulose de la fibre (groupes hydroxyles) ; cette affinité est réduite pour les fibres immatures (en l'absence de mercerisation) en lien avec les caractéristiques intrinsèques des fibres de coton et pour les impuretés non cellulosiques encore présentes à ce stade ;
- de traitements spéciaux par l'action de résines pour faciliter l'entretien ultérieur des étoffes (infroissabilité, imperméabilité, etc...).

La dernière étape de la chaîne est la confection des produits commercialisés au grand public.

Afin de gérer ses conditions de production (qualité et productivité), chacun des maillons de cette chaîne s'est doté de méthodes, d'outils, d'appareils de mesure de certaines caractéristiques des produits. Les producteurs de fibres doivent s'adapter aux exigences des étapes ultérieures. Afin de promouvoir leurs productions, et défendre leur part de marché, les producteurs de coton utilisent divers instruments de caractérisation de la fibre.

3- Physiologie du cotonnier et régime de reproduction

La physiologie du cotonnier répond dans sa généralité à celle que nous connaissons de nombreuses dicotylédones avec cependant quelques particularités originales. Le cotonnier est une plante vivace mais cultivée comme une culture annuelle. Les variétés cultivées ont alors conservé de leurs ancêtres sauvages la possibilité de refleurir après leur premier cycle de fructification. Elles ont une croissance de type indéterminé et on rencontre sur la même plante des boutons floraux, des fleurs et des capsules (Photo 4) à tous les âges de développement. La fleur est hermaphrodite et le mode de reproduction est préférentiellement autogame mais avec des taux d'allogamie pouvant atteindre 30% dans certaines localités en fonction de la densité des insectes pollinisateurs. L'importance du taux d'allogamie chez le cotonnier dépend de l'intervention des principaux pollinisateurs, des hyménoptères parmi lesquels les abeilles (*Apis* sp.) et les bourdons (*Bombus* sp.) sont les plus actifs en Afrique. Tous les facteurs pouvant intervenir sur leur nombre, leur répartition ou leur efficacité modifient le taux d'allogamie : climat, géographie, calage des cycles, protection phytosanitaire, distance entre plantes et itinéraire technique (Tableau 1).

Tableau 1: Effet de la protection phytosanitaire (pyréthriné), de la distance à la source de pollen ou de la densité sur le taux d'allogamie, d'après Lançon

Traitement	Dispositif	Taux d'allogamie
Protection hebdomadaire	Parcelles de 20 lignes	1,6 à 6,3%
Protection quotidienne	Parcelles de 20 lignes	0,4 à 5,0%
Allopollen à 1m	Parcelles de 20 lignes	5,60%
Allopollen à 5 m	Parcelles de 20 lignes	1,60%
Allopollen à 8 m	Parcelles de 20 lignes	1,00%
1000 plants/ha	Plants ou lignes isolées	10 à 13%
50000 plants/ha	Plants ou lignes isolées	2 à 6%



Photo 4: Plant de cotonnier portant bouton floral, fleur et capsule

La floraison chez le cotonnier progresse du bas vers le haut et de l'intérieur vers l'extérieur de la plante. Il s'écoule en moyenne 2 à 3 jours entre l'ouverture des deux fleurs situées à la même position sur deux sympodes successifs et 6 à 9 jours entre deux positions successives d'un même sympode (fig.3). Le rythme de floraison est accéléré par un climat plus sec et plus chaud et peut être considéré comme constant pour un climat donné.

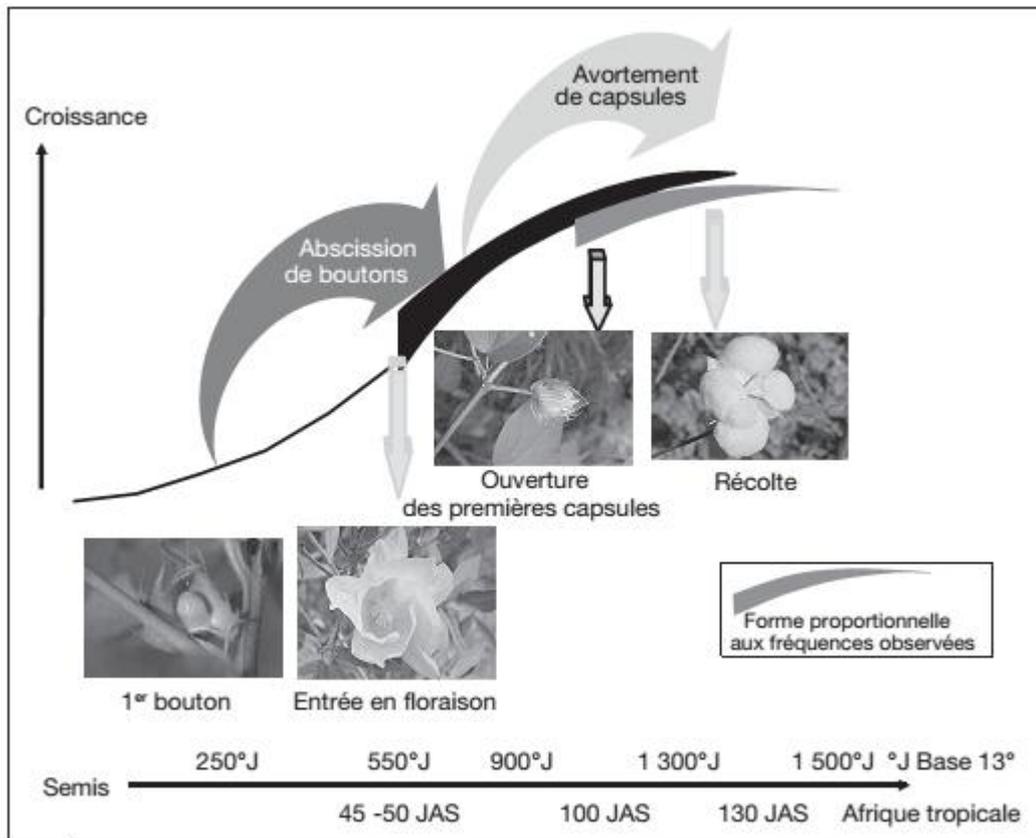


Figure 9 : La température rythme le développement de la plante

- 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.

Un phénomène important chez le cotonnier est la coulure («shedding») qui peut être d'origine parasitaire ou physiologique. Il s'agit de la chute prématurée des organes fructifères. Le «shedding» peut être aussi dû à des stress affectant la vie du cotonnier. L'humidité excessive ou déficitaire, la mauvaise nutrition ou une insuffisante insolation peuvent être des causes importantes de la chute des organes fructifères. Le «shedding» parasitaire est causé par des piqûres d'insectes ou la pénétration de chenilles dans les organes fructifères. Dans des

conditions de parasitisme particulièrement spectaculaires, le taux de « shedding » peut atteindre 100%. Mais le « shedding » dépend aussi de la charge du cotonnier en capsules en cours de maturation.

Ces particularités du cycle du cotonnier peuvent être décrites au moyen d'un certain nombre de paramètres très exploitables par les agriculteurs et les phytotechniciens, les uns pour la gestion de la culture, les autres pour des fins de recherche.



Figure 10 : Représentation schématique de l'évolution de la plante

4. Mode de croissance et développement de la plante

La date de semis des graines de cotonnier est déterminée par les conditions climatiques (température, pluviométrie). Elle varie donc d'une région de culture à une autre et peut s'étendre sur plusieurs saisons selon le climat.

Le cotonnier est une plante à croissance continue dont les phases végétatives et fructifères ne sont pas séparées dans le temps.

Le cycle du cotonnier peut être découpé en deux stades : le stade végétatif et le stade reproductif :

- **Le stade végétatif** dure de 55 à 70 jours et comprend 3 phases successives dont :

- **La phase de levée** allant de la germination à l'étalement des cotylédons. Elle dure habituellement 6 à 10 jours en conditions normales ;

- **La phase plantule** qui va de l'étalement des cotylédons au stade 3-4 feuilles. Elle dure 20 à 25 jours ;

- **La phase de préfloraison** allant du stade 3-4 feuilles au début de la floraison. Sa durée moyenne est de 30 à 35 jours ;
- **Le stade reproductif** dure de 100 à 150 jours. Il est subdivisé en deux phases : **la phase de la floraison** d'une durée de 50 à 70 jours et **la phase de maturation** des capsules étalée sur 50 à 80 jours. En effet, le cotonnier a une croissance de type indéterminé et on rencontre sur la même plante des boutons floraux, des fleurs et des capsules (Photo 4) à tous les âges de développement. La fleur est hermaphrodite et le mode de reproduction est préférentiellement autogame mais avec des taux d'allogamie pouvant atteindre 30% dans certaines localités en fonction de la densité des insectes pollinisateurs.

Le coton-graine est l'objet de la récolte ; il est constitué des graines et des fibres qu'elles portent. Des fleurs peuvent continuer à se former bien que les premières capsules soient ouvertes. C'est une caractéristique du cotonnier d'avoir à la fois des boutons floraux, des fleurs, des capsules fermées ou ouvertes au cours de son développement.

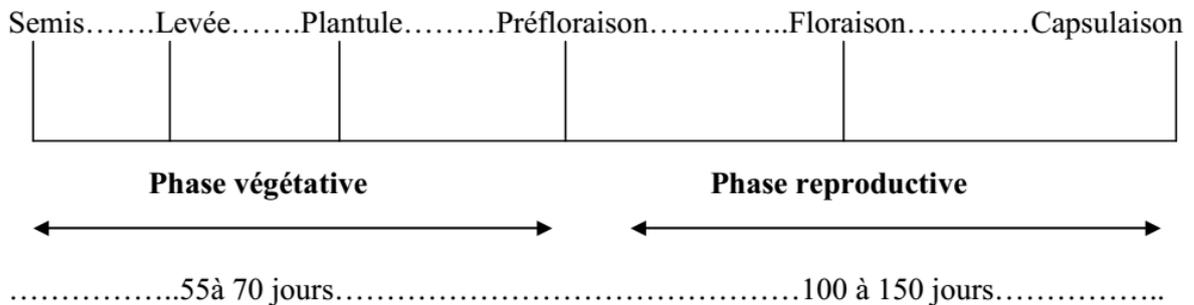


Figure 11 : Schéma montrant les différents stades de développement du cotonnier

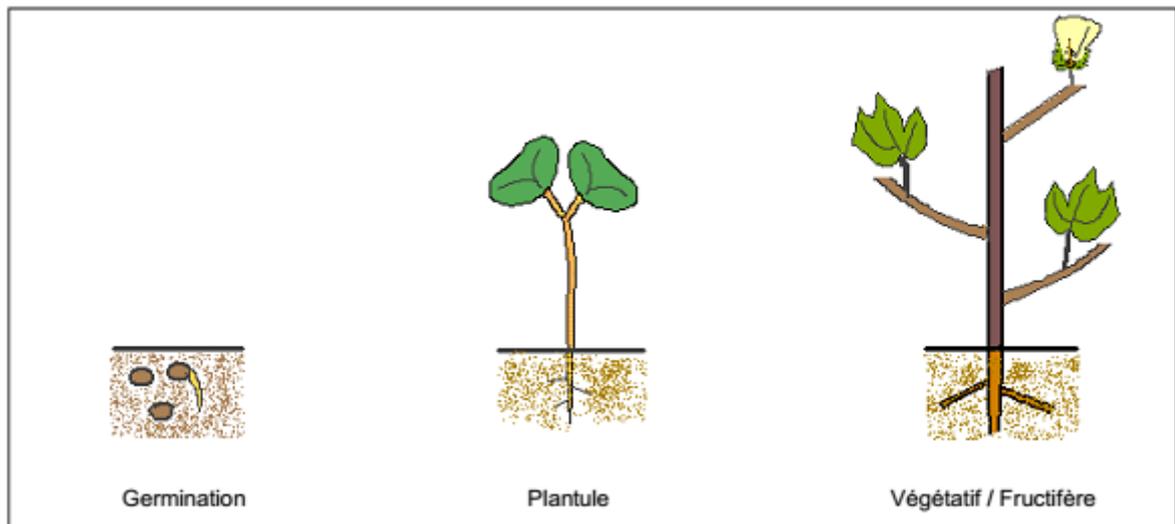


Figure 12 : Phases de développement du cotonnier



Figure 13 : Développement du fruit du cotonnier *G.hirsutum*

Tableau 2 : Caractéristiques générales du cycle du cotonnier

Phases du cycle	Caractéristiques et exigences écologiques
Germination – Levée	Germination à l'étalement des cotylédons 6 à 12 jours en conditions favorables Température du sol de 25 à 30°C Zéro de germination de 14°C Humidité du sol située 90% de sa capacité de rétention en eau
Plantule	Se termine au stade 3 à 4 feuilles

	Durée moyenne de 20 jours en conditions favorables Température du sol supérieure à 20°C Température de l'air de 25 à 30°C Sol suffisamment humide et non saturé
Préfloraison ou initiation florale	Du stade plantule à l'apparition du 1 ^{er} bouton floral Durée moyenne de 20 jours Apparition de branches végétatives et fructifères Conditions climatiques et édaphiques déterminantes
Floraison	Peut durer 40 à 70 jours après la préfloraison suivie de la fécondation
Maturation et déhiscence de la capsule	Grossissement des capsules, formations des fibres (20 à 25 jours) Déhiscence des capsules (20 à 40 jours en conditions favorables)

Le cotonnier est une plante monoïque hermaphrodite c'est-à-dire que l'on retrouve sur la même fleur de la plante à la fois l'appareil reproducteur mâle (l'androcée) et femelle (le gynécée). Son mode de reproduction est préférentiellement autogame mais avec des taux d'allogamie pouvant atteindre 30% dans certaines localités en fonction de la densité des insectes pollinisateurs.

L'importance du taux d'allogamie chez le cotonnier dépend de l'intervention des principaux pollinisateurs, des hyménoptères parmi lesquels les abeilles (*Apis sp.*) et les bourdons (*Bombus sp.*) sont les plus actifs en Afrique.

La floraison chez le cotonnier progresse du bas vers le haut et de l'intérieur vers l'extérieur de la plante. Il s'écoule en moyenne 2 à 3 jours entre l'ouverture des deux fleurs situées à la même position sur deux sympodes successifs et 6 à 9 jours entre deux positions successives d'un même sympode. Le rythme de floraison est accéléré par un climat plus sec et plus chaud et peut être considéré comme constant pour un climat donné.

Un phénomène important chez le cotonnier est la chute des organes florifères et fructifères ou «**shedding**» qui peut être d'origine parasitaire ou physiologique. PARRY (1982) et BENEDICT (1984) ont indiqué trois types d'abscissions :

- **l'abscission par contrainte** est due à divers facteurs dont une carence hydrique, une mauvaise nutrition minérale, une insolation insuffisante ou une attaque parasitaire. Le «**shedding**» parasitaire est causé par des piqûres d'insectes ou la pénétration de chenilles dans les organes fructifères.
- **l'abscission physiologique** est imposée par la plante elle-même en absence de toute contrainte. Son intensité dépend de la charge du cotonnier en capsules en cours de maturation. Au fur et à mesure que le temps passe, les jeunes capsules formées tendent à tomber plus intensément. Il s'agit d'un phénomène de corrélation puisque si l'on enlève artificiellement toutes les capsules en maturation sur un cotonnier, les derniers boutons

apparus se maintiennent jusqu'à la floraison et les nouvelles fleurs formées restent sur pied. L'abscission physiologique se subdivise en abscission pré-florale (80%) et post-florale (20%) dans les conditions de culture au Burkina Faso. Ainsi sur 100 boutons floraux initiés, seules 40 deviennent des fleurs qui donnent des capsules.

- **l'abscission par fécondation** insuffisante intervient lorsque l'ovaire ne reçoit aucun tube pollinique ou si le nombre d'ovules fécondés est insuffisant dans les jeunes capsules. Ceci intervient lorsque la carence en bore est prononcée ou en cas d'éclairement insuffisant.

L'abscission joue un rôle régulateur important dans la production du cotonnier. Cette chute d'organes fructifères est compensée par la formation de fleurs qui se développent sur d'anciennes ou de nouvelles branches fructifères. Par cet effet de compensation, la plante réagit ensuite en diminuant l'abscission physiologique par corrélation. La floraison s'intensifie et se prolonge, les chutes de capsules diminuent par rapport au niveau qui aurait pu être atteint en absence de phénomènes perturbateurs.

Parmi les facteurs qui influent sur le shedding physiologique, on peut citer :

- Les facteurs environnementaux dont les effets ont été étudiés par GUINN (1974). Une augmentation du taux de CO₂ de 350 à 1000 µl/l réduit l'abscission des capsules de 39,9 à 16,4% ; un accroissement de la photopériode de 8 à 14 heures diminue l'abscission qui est accrue au contraire par des températures élevées pendant la nuit et par une faible luminosité ;

- Le stress hydrique : l'abscission des organes fructifères du cotonnier par la déficience en eau a été étudiée par JORDAN, (1982) indique que le stress hydrique entraînerait une production d'éthylène dans les pétioles.

5- Exigences écologiques du cotonnier

Le cotonnier nécessite une saison sèche terminale bien marquée, indispensable à une bonne ouverture des capsules et à la récolte. Le climat intertropical de savane convient donc assez bien de ce point de vue.

La température

La croissance végétative et le développement des organes reproducteurs chez le cotonnier sont fortement influencés par la température. La durée des différentes phases du cycle est généralement exprimée en degré-jour (DJ). Elle représente la somme des différences quotidiennes entre la température moyenne et la température à laquelle le cotonnier arrête sa croissance (13°C). Elle se calcule selon la formule : $DJ = [(T_{max} + T_{min})/2] - 13$, avec $DJ > 0$; T_m désignant la température maximale de la journée et T_{min} la température minimale enregistrée au cours de la même journée. La durée du cycle du cotonnier exprimée en DJ est comprise entre 1450 et 1600 et se répartit comme ci-après :

- Levée : 35 à 40 DJ ;

- Du semis à la première fleur : 530 à 650 DJ ;

- De la première fleur à la première capsule ouverte : 600 à 750 DJ ;

La température de germination optimale des graines est de l'ordre de 30°C. Toute levée est impossible en dessous de 15°C. L'environnement thermique le plus favorable pour la culture du cotonnier varie entre 25° et 30°C pour les températures diurnes et entre 15 et 20°C pour les températures nocturnes (Demol, 1992). L'exposition du cotonnier à des températures basses (0 à 10°C) provoque chez lui des dégâts appelés « chilling » (perte de turgescence d'un nombre croissant de feuilles pouvant aller dans les cas extrêmes jusqu'à la mort de la plante). Les travaux effectués par Parry (1982) ont rapporté que la température minimum de croissance est de 13°C et que la température optimale se situe entre 27 et 32°C.

L'eau

Le système racinaire pivotant du cotonnier lui confère une bonne résistance à la sécheresse. Ses besoins en eau varient en fonction de son stade de développement. Les besoins en eau s'accroissent avec le développement de la plante. Ils sont plus élevés lorsque le cotonnier porte des boutons floraux et des fleurs et lorsqu'il forme des capsules. Il faut compter 2 à 3mm d'eau par jour en début de végétation et 4 à 7 mm en période de floraison et de formation des capsules. Au moment de la maturation des capsules, la saturation du sol n'est plus nécessaire et 2 à 3mm d'eau par jour suffisent. L'arrêt total des pluies en période de déhiscence des capsules et de récolte est la situation la plus favorable. En théorie, 400 à 500 mm d'eau devraient suffire pour permettre au cotonnier de réaliser son cycle, mais en pratique, à cause des diverses pertes, on estime ses besoins moyens en eau à environ 700mm.

Le déficit hydrique perturbe moins le développement reproducteur et la croissance des capsules que l'expansion foliaire, la rétention des organes reproducteurs et la croissance végétative. Il peut avoir une influence négative sur la qualité de la fibre.

L'ensoleillement

Le cotonnier est une plante héliophile par excellence. L'ensoleillement est un facteur primordial de développement de la culture, surtout au cours de la phase de développement du système reproducteur : une réduction même légère de l'ensoleillement a un effet défavorable sur la croissance et la rétention des organes reproducteurs. L'activité optimale serait atteinte avec 100000 lux. En Afrique, la durée du jour n'exerce aucune influence sur le démarrage de la floraison du cotonnier.

Le sol

En même temps qu'il supporte la plante, le sol constitue le réservoir dans lequel elle puise sa nourriture. Un bon sol pour la culture cotonnière doit être profond, riche en matière organique, bien travaillé pour être aéré et perméable à l'eau et aux racines. Ces sols doivent en outre être homogènes, et riches en éléments minéraux majeurs (Azote (N), Potassium (K), Phosphore (P)) ; secondaires, et oligoéléments (Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Soufre (S), Fer (Fe), Bore (B), Cuivre (Cu), Zinc (Zn) etc.).

Le pH optimum se situe entre 6,0 et 7,0. Le cotonnier est très sensible à la toxicité d'aluminium et de manganèse. Pour assurer une bonne production, l'application d'un amendement calcaire est indispensable dès que le pH est inférieur à 5,0.

Le cotonnier préfère les sols pas trop lourds de type argilo- sableux ou sablo- argileux. Il ne supporte pas du tout les terres trop humides mais peut s'accommoder d'un certain niveau de salinité. Toute augmentation de la concentration en sels au-delà de 5 à 6% se traduit généralement par une baisse de production.

La résistance à la salinité varie fortement d'une variété à l'autre. Le cotonnier est particulièrement sensible à la carence en Bore qui se traduit par des symptômes typiques (apparition d'anneaux foncés sur le pétiole, nécroses à la moelle du pétiole, fleurs malformées, plantes naines à sommet anormal ou « crumple top »).

En outre, de par son système racinaire particulièrement développé, le cotonnier requiert une terre riche (limoneuse ou argilo-sableuse) dans laquelle il puisse enfoncer profondément ses racines à fort pivot et se développer ainsi dans les meilleures conditions.

En Afrique de l'ouest, beaucoup de paysans cultivent leur coton sur des sols légers (sablonneux, couleurs claires) et des sols superficiels (gravillonnaires) qui se caractérisent par une faible capacité de rétention d'eau et d'éléments nutritifs. Ce type de sol est facilement affecté par des sécheresses et demande des apports suffisants et réguliers de compost et de fumier. Le labour des sols légers doit être superficiel et réduit au maximum pour éviter l'érosion et la trop grande décomposition de la matière organique. Les sols lourds (sols profonds, argileux, couleurs sombres) par contre, se caractérisent par une grande capacité de rétention d'eau, une grande fertilité et un moindre risque d'être affecté par la sécheresse. Dans ce cas, la culture intensive de variétés à haute performance est possible.

6. Techniques culturales

La conduite de la culture du cotonnier regroupe les activités telles que, la préparation du sol, le semis, le démariage, la fumure, l'entretien, la protection phytosanitaire et la récolte.

6.1. Préparation du sol

Le cotonnier recherche les terres profondément ameublées, d'où le rendement assez élevé en culture mécanisée. De ce fait, le labour doit être profond. Ces conditions favorisent la circulation de l'air et de l'eau dans le sol et par conséquent le bon développement du cotonnier aussi bien au niveau des racines que de la végétation. Elle consiste en un ou deux labour(s) qui apprêteront l'espace devant abriter la culture.

6.2. Semis et densité

Le semis s'effectue en terre profondément ameublée. L'époque des semis doit être telle que la récolte ait lieu en saison sèche ; elle est donc étroitement liée au régime des pluies et

aux conditions parasitaires. Le semis se fait soit à la main, soit mécaniquement à plat ou sur billon.

Les besoins en semences pour un hectare s'élèvent à 20 kg. Le semis est réalisé à 5 graines par poquet et à une profondeur de 3-5 cm. Le démariage est réalisé vers le 15^{ème} jour après la levée (JAL). Il est réalisé à un plant par poquet pour des écartements de 0,8 m x 0,3 m soit une densité de 41666 plants par hectare ou deux plants pour 0,8m x 0,4 m à 62500 plants par hectare.

6.3. Importance de la fertilisation minérale

La fumure minérale a été longtemps considérée comme la première solution pour pallier aux problèmes de baisse de fertilité des sols et de rendements. La fumure du cotonnier en particulier, a comme rôle de corriger les carences et/ou déficiences naturelles des sols ou celles qui peuvent apparaître du fait d'une culture intensive. Elle peut être organique (engrais vert, résidus de récolte, fumier) ou minérale (engrais chimique). L'application de la fumure dépend du type de sol et de la date de semis. Au Bénin on retrouve deux types de sols, les sols ferrugineux tropicaux au nord et les terres de barre au sud. Dans cette condition, il est adopté en fumure de fond l'utilisation de la formule NPKSB: 14-23-14-5-1, 1 à 15 jours après semis (JAS) à la dose de 150 kg/ha sur sols ferrugineux tropicaux et 100kg/ha sur terre de barre. En fumure de couverture 50 kg d'urée par hectare sur les deux types de sol à 40 JAS. 50kg/ha de KCl sont ajoutés en complément sur terre de barre à 40 JAS. Selon les zones agro écologiques et selon que le semis soit précoce ou tardif, des réajustements sont possibles.

Par ailleurs, de nombreuses études menées dans plusieurs pays et sur diverses plantes montrent l'effet bénéfique de l'apport d'engrais minéral sur la croissance et la production de ces cultures.

L'autre avantage des engrais est qu'ils n'améliorent pas seulement le rendement mais aussi les résidus de culture (biomasse) qui sont utilisés comme engrais organique par la culture précédente. Les apports de phosphore chez les légumineuses doublent la biomasse des cultures et augmentent l'efficacité agronomique des engrais chez les céréales.

Il faut aussi signaler que l'insuffisance ou l'excès des éléments minéraux dans le sol cause d'énormes difficultés aux cultures. En effet, Olaniyi (2008) a signalé que chez *Citrullus lanatus*, la maturation du maximum de fruit peut être retardée de 11 jours si la disponibilité d'azote est limitée. Par contre, un excès d'azote entraîne chez la plante la prolifération de la partie végétation au détriment de la floraison, une fructification peu importante et la rend plus sensible aux maladies et ravageurs. Le manque de phosphore dans un sol se traduit chez la plante par une croissance lente, une maturité retardée et une diminution du rendement et de la qualité. Le cotonnier étant cultivé dans des climats secs, pour lesquels la ressource hydrique est un facteur clé de la réussite économique de la culture, une bonne alimentation potassique est indispensable.

6.4. L'entretien

Deux sarclages sont recommandés vers les 15^{ème} et 35^{ème} JAS et un sarclo-buttage vers les 40^{ème} ou 50^{ème} JAS sont prévus afin d'éviter la compétition entre les mauvaises herbes et le cotonnier. Pour faciliter la récolte on peut faire un désherbage vers le 80^{ème} ou 100^{ème} JAS. L'utilisation d'herbicide au semis est recommandée en cette période de rareté de la main d'œuvre.

6.5. La protection phytosanitaire

Contre les maladies, seule la lutte variétale est efficace. Pour combattre les rongeurs il est prévu en République du Bénin une lutte biologique (Python) ou mécanique (Battues, pièges, etc.). Quant aux insectes l'application d'insecticide est la mesure actuelle la plus utilisée. Les traitements phytosanitaires se font suivant trois zones phytosanitaires (i, Borgou et Alibori, ii) Atacora et Donga, iii) Collines et le reste des départements (sud).

6.6. La récolte

A maturité, les capsules s'ouvrent progressivement. La fin des pluies accélère le processus vers fin Octobre/début Novembre. La récolte est manuelle dans de très nombreuses régions du globe. Il est conseillé de :

- ✓ Récolter précocement ;
- ✓ Échelonner la récolte (faire deux récoltes au moins) ;
- ✓ Récolter le coton propre dans un grand sac et le coton taché ou jaune dans un petit sac;

L'incinération des vieux cotonniers n'est plus recommandée (les faire pâturer, les enfouir pendant le labour, ou les éparpiller sur le sol).

6.7. Cartographie du plant de cotonnier

La cartographie du cotonnier est un outil qui s'intègre dans une stratégie plus globale de modélisation de la croissance et du développement du cotonnier appelée « cotton monitoring ». Le but est de fournir dans des conditions environnementales bien définies, des standards aux quels pourront être comparées des données de « monitoring » afin de prendre des décisions concernant la gestion de la culture. La méthode repose sur les mesures d'un certain nombre de paramètres dont majoritairement :

- La hauteur totale (HT)
- La longueur d'entre- noeud (HNR)
- Le nombre de noeuds au-dessus de la dernière fleur blanche en première position des branches fructifères (NAWF)
- Le profil de répartition des sites fructifères
- Le pourcentage de rétention des boutons floraux ou de fruits.

Ø « Plant mapping » : outil de prédiction de la production

L'utilisation du plant mapping pour prédire le comportement d'un cultivar a fait l'objet de nombreuses études ces dernières années. Elle permet une évaluation précoce des variétés. Le potentiel de production de la plante est déjà totalement installé lorsque le NAWF atteint la valeur 5 (cut out). A ce stade, on pourrait donc déjà avoir une idée de la production totale. Hake et Stair (1994) ont mis en évidence une relation positive entre le NAWF des premiers stades de floraison et le rendement en fibre. Le pourcentage de rétention capsulaire par noeud et par position est très corrélé avec le rendement, beaucoup plus que ne l'est le nombre de capsules par plant. La quantité de fleurs nécessaires pour produire 0,5kg de coton graine serait relativement constante entre les valeurs 10 et 6 du NAWF, et croîtrait rapidement à partir de NAWF = 5.

7- Zones de production et itinéraires de culture du cotonnier

7.1- Aires de culture

La culture cotonnière est répartie sur les cinq continents, entre 45° de latitude Nord et 30° de latitude Sud. Actuellement, le cotonnier est cultivé dans toutes les zones suffisamment chaudes du globe. Les limites extrêmes de son aire de culture vont de la Bulgarie, de l'Ouzébékistan et de la Chine au Nord (plus ou moins 40° de latitude nord) à la partie septentrionale de l'Argentine et de l'Australie au Sud (plus ou moins 35° de latitude sud).

En Afrique, la culture du coton est pratiquée dans presque toutes les régions de savanes Soudano- guinéennes et soudaniennes. Elle se pratique également dans des zones plus sèches (Afrique du sud, Algérie, Egypte, Maroc, Soudan...) où elle nécessite l'apport d'irrigation. Aussi, retrouve t- on la culture du coton en Afrique de l'Ouest en général, et au Bénin en particulier. Les principales zones productrices au Bénin se situent dans la zone intertropicale entre 6°30' et 12°30' latitude nord. Elles appartiennent par conséquent au domaine des climats chauds et humides. Compte tenu de l'allongement du Bénin en latitude, la saison pluvieuse s'installe progressivement du Sud vers le Nord ; la saison sèche, commence plutôt au Nord et dure longtemps dans cette région. Ainsi donc, le Bénin est divisé en quatre zones de production cotonnière auxquelles correspondent des caractéristiques agro écologiques différentes (fig. 14).

La zone Nord correspond aux départements de l'Alibori et de l'Atacora. On y rencontre un climat tropical sahélo- soudanien avec une saison pluvieuse et une saison sèche. La végétation est parsemée d'arbustes et de petites herbes ; et le sol est du type ferrugineux.

La zone Nord - centre couvrant les départements du Borgou et de la Donga. Elle est caractérisée aussi par un climat tropical semi-aride avec l'alternance d'une saison pluvieuse et d'une saison sèche d'importance plus ou moins égales. La végétation est parsemée d'arbres (karité, néré, fromager etc.) ; le sol est du type ferrugineux.

La zone Centre représentée par les départements de Zou et des Collines a un climat tropical humide

La zone Sud couvrant les départements de l'Ouémé, du Plateau, du Couffo et du Mono est caractérisée par un climat tropical humide ou guinéen avec alternance de deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches.

En général, le climat du Bénin est bien approprié pour la production pluviale du coton avec une précipitation annuelle entre 900 et 1300 mm (Assecna Kandi) et une température moyenne autour de 28°C. La partie du sud à proximité de l'Océan Atlantique est peu propice au développement du coton parce que l'humidité relative de l'air y est trop élevée. Ceci cause un développement excessif de la phase végétative sans formation de capsules. Le harmattan, vent froid et sec souffrant au Nord est responsable de la baisse de l'humidité relative de l'air. IL favorise l'ouverture des capsules en fin de cycle.

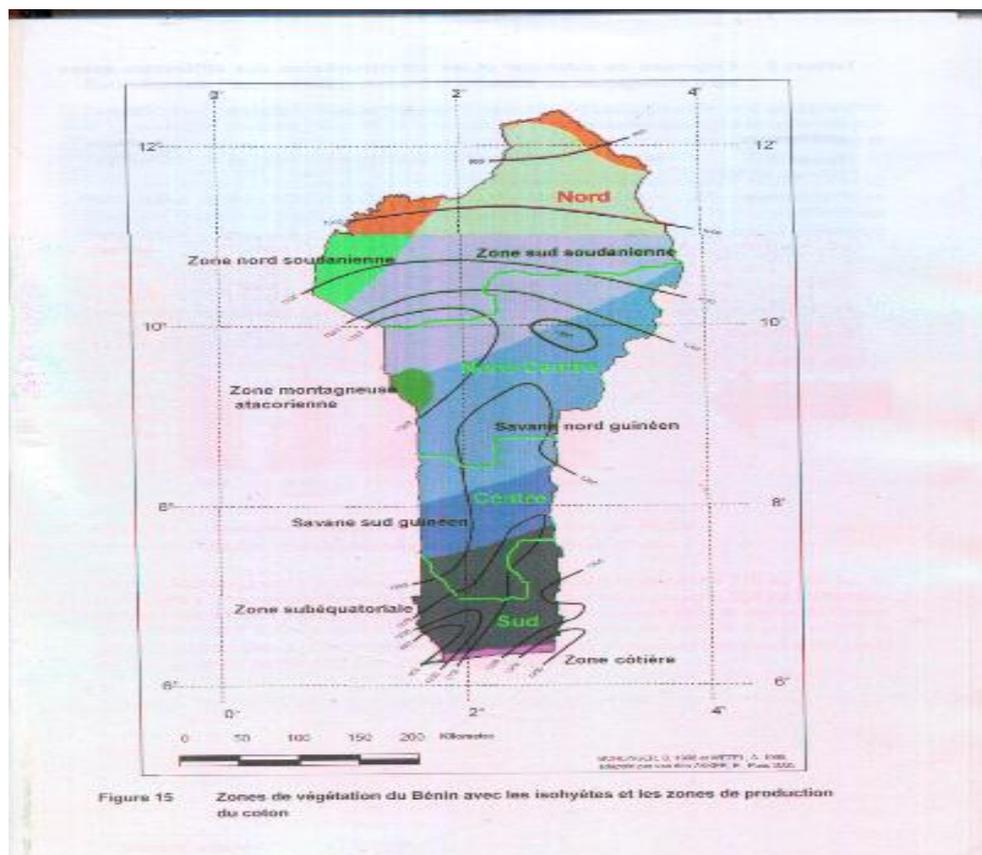


Figure 14 : Zone de végétation du Bénin avec les isohyètes et les zones de production de coton.

8. Les principaux ennemis du cotonnier

Le cotonnier est l'une des plantes les plus parasitées au monde. Outre les adventices, on dénombre en Afrique tropicale environ 480 espèces d'insectes, acariens, myriapodes et nématodes qui vivent aux dépens du cotonnier

8.1 - Les adventices

Un adventice est une plante indésirable qui entre en concurrence avec les plantes cultivées pour les éléments nutritifs, la lumière, l'eau et l'espace. Dans les pays en

développement et particulièrement en Afrique, les pertes de rendement imputables aux adventices sont plus importantes.

Selon Parry (1982), en culture cotonnière, de nombreuses expériences réalisées dans les conditions différentes permettent d'estimer des pertes de récolte jusqu'à 80% lorsque le désherbage est fait dans de très mauvaises conditions. Tonato (1988) a montré qu'un enherbement pendant les vingt premiers jours qui suivent le semis entraîne une baisse de rendement de coton graine jusqu'à 18% et qu'une compétition entre cotonniers et adventices pendant cinquante jours après semis ou durant tout leur cycle entraînent respectivement une réduction du rendement de 13 et de 50%. De ce fait les adventices revêtent une grande importance. Celles rencontrées sur le site d'expérimentation selon leur importance sont : *Leucas martinensis*, *Setaria pumila*, *Rottboelia exaltata*, *Commelina benghalensis*, *Boerhavia diffusa*, *Celosia argenta*, *Ipomea eriocarpa*, *Digitaria horizontalis*, *Brachiaria lata*.

8.2 Les insectes ravageurs des organes aériens du plant

Chenilles phyllophages

***Syllepte derogata* (Lepidoptera Pyralidae)**

Les chenilles sont vertes claires, souvent translucides avec une tête noire brillante. Leur longueur atteint 2 à 3 cm. *S. derogata* est encore appelé chenille enrouleuse. Elle s'attaque aux feuilles qu'elle enroule sous forme de cigare, à l'aide de fils soyeux. L'intérieur de la feuille enroulée est souillé par de nombreux excréments noirs. Les attaques de *S. derogata* sont souvent localisées dans le champ et peuvent entraîner une défoliation spectaculaire. Les organophosphorés acaricides sont les plus fréquemment utilisés. Mais toutes les substances alternatives recommandées contre *Helicoverpa armigera* éliminent aussi cette espèce. Un labour de qualité détruit les chenilles en diapause.

***Spodoptera littoralis Boisduval* (Lepidoptera Noctuidae)**

Les chenilles de cette espèce ont une coloration très variable (brune, jaunâtre ou grise). Elles sont caractérisées par deux rangées de triangles noirs sur le dos et une ligne claire de chaque côté. Mais ces triangles peuvent être présents seulement à l'avant ou à l'arrière du corps. Les jeunes chenilles naissent à la face inférieure des feuilles de cotonniers qu'elles rongent. Plus âgées, elles se dispersent sur les plants dont elles consomment le feuillage. En cas de fortes attaques, seules les nervures peuvent subsister. Très vorace, ce ravageur peut aussi attaquer fleurs et capsules. Son statut de ravageur de feuillage n'est donc pas strict et en cas de fortes infestations *S. littoralis*, peut provoquer d'importants dégâts aux organes fructifères. Les pyréthrinoides sont considérés comme peu efficaces aux doses usuellement employées ; seuls les organophosphorés et surtout les régulateurs de croissance sont efficaces contre ce ravageur.

***Anomis flava* (Lepidoptera - Noctuidae)**

La chenille est vert clair, parfois même vert jaunâtre. Elle porte cinq lignes blanches très fines sur le dos. La tête est vert-jaune. Sa taille maximale environ 35 mm. Elle se déplace d'une manière très caractéristique. Elle ne s'alimente que du feuillage et son alimentation est essentiellement limitée aux malvacées. La chrysalide est fixée au feuillage dans un cocon. Les dégâts des chenilles se présentent comme des perforations circulaires de 1 à 3 cm de diamètre dans les feuilles.

Ravageurs des organes fructifères

Ce sont les chenilles carpophages à régime exocarpique, ou endocarpique et les punaises.

1- Chenilles carpophages à régime exocarpique

***Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera, Noctuidae)**

H. armigera est le plus préjudiciable des ravageurs du cotonnier au Bénin. L'espèce existe dans toutes les zones de culture cotonnière à l'exception de l'Amérique. La chenille, très mobile, mesure au dernier stade 3,5 - 4 cm. Elle présente des couleurs très variables : vert, gris, marron, et est caractérisée par une tête jaune et deux lignes latérales claires. Les chenilles néonates consomment brièvement du feuillage juste après leur éclosion. Elles se développent ensuite en consommant tous les autres types d'organes de reproduction : boutons floraux, fleurs et capsules. La larve est donc très vorace et une chenille consomme plusieurs de ces organes pour compléter son cycle. Les organes attaqués présentent un trou au contour circulaire très net de 4 mm de diamètre. Les chenilles en consomment l'intérieur et rejettent d'abondants excréments à l'extérieur. Les jeunes organes tombent. Ces dégâts peuvent être très importants et dans certains cas, la chenille peut attaquer les jeunes feuilles et rameaux. *Helicoverpa* parasite aussi le maïs, le sorgho, la tomate, le gombo et le tabac... Peu d'insecticides sont vraiment efficaces contre ce ravageur qui est devenu résistant au pyréthrinoïdes au Bénin depuis 1998. Le Tiham et d'autres molécules comme l'indoxacarbe, le profénofos, le spinoscide ou certains régulateurs de croissance sont cependant actifs.



Photo 5 : Chenille de *H. armigera* Dégâts de *Helicoverpa armigera*

***Earias* sp. (Lepidoptera - Noctuidae)**

La chenille de forme trapue est facile à reconnaître, car elle porte de nombreuses épines : c'est la chenille épineuse. Elle attaque les jeunes plants en les écimant. La chrysalide

est formée dans un cocon de couleur crème-ivoire fixé sur les tiges. Ces espèces consomment diverses plantes proches des cotonniers. Les trous d'entrée sont assez grands et bien visibles. Elle cause également des dégâts sur boutons floraux, fleurs et capsules. Deux espèces se rencontrent au Bénin : *E. insulana* surtout dans le nord et *E. biplaga* dans le reste du pays.



Photo 6: *Earias sp* Dégâts de *Earias sp*

***Diparopsis watersi* Roth (Lepidoptera Gelechiidae)**

La chenille jaunâtre, devient ensuite vert pâle avec des traits transversaux rouges plus rapprochés vers la tête. Elle atteint à son complet développement 2,5 à 3 cm. Elle attaque en perforant boutons floraux, fleurs et capsules, qui restent parfois suspendus au plant par des fils de soie. Ce dégât typique est caractéristique de la présence de *D.watersi* dans la culture. Devenue rare au Bénin dans les années 80, cette espèce devient de plus en plus fréquente.

2- Chenilles carpophages à régime endocarpique

***Cryptophlebia leucotreta* Meyrick (Lepidoptera Tortricidae)**

La chenille gris pâle, mesure 1,5 cm à son complet développement. On peut la confondre avec le ver rose, seul l'emploi d'une loupe permet de distinguer les deux espèces. Comme le ver rose, elle pénètre dans l'organe fructifère dès son éclosion et peut détruire plusieurs loges de la capsule attaquée. Le coton graine est fortement déprécié (quartiers d'oranges) et devient souvent non marchand. *Cryptophlebia* est très polyphage. Il attaque le maïs, les agrumes, le goyavier, l'avocatier, le gombo, ... La lutte chimique repose à nouveau essentiellement sur l'emploi des pyréthrinoïdes pour leur bonne action de contact contre les adultes. L'association maïs - coton favorise le passage d'un hôte à l'autre et nuit à la culture cotonnière.



Photo 7: Dégâts de *Cryptophlebia*

***Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera Gelechiidae)**

Connue sous le nom de 'ver rose', la chenille présente des segments marqués de bandes et traits transversaux rose sombre d'où son nom. Elle mesure 1 à 1,5 cm à son complet développement. *P. gossypiella* est confondu avec *Cryptophlebia*. Elle attaque les fleurs et provoque un symptôme spécifique : 'fleur en rosette'. Comme *Cryptophlebia*, elle pénètre directement dans la capsule et se nourrit préférentiellement des graines. Les dégâts sont suivis de pourritures secondaires. Le coton graine est souillé, fortement déprécié et devient difficile à vendre. *Pectinophora* ne vit que sur des plantes de la même famille que le cotonnier. La lutte chimique vise essentiellement les adultes, seul stade mobile extérieur.



Photo 8: Dégâts dus à *Pectinophora (Platyedra) gossypiella*

3. Punaises

***Helopeltis schoutedeni* Reuter (Heteroptera - Miridae)**

C'est une punaise de forme allongée, de coloration jaune orange ou rouge vif. Elle attaque les feuilles, rameaux, tiges et capsules, avec production de chancres bruns ou noirs. En cas d'attaques sévères, les feuilles sont gaufrées, craquelées avec un aspect de 'griffes'. La croissance de la plante est ralentie. Sur capsules, le dégât se présente comme une pustule arrondie et sombre. Sur les tiges, les chancres sont allongés et l'écorce se craquelle. Les plants affaiblis produisent moins de fleurs et retiennent moins bien les organes fructifères qui tombent, et forment de petites capsules.

***Dysdercus völkeris* Schmidt (Heteroptera - Pyrrhocoridae)**

Grosse punaise de 1 à 1,5 cm, rouge et noir qui vit en colonie et dont les larves sont rouge vif. Elle pique les capsules vertes ou celles ouvertes pour se nourrir de graines. Elle déprécie la valeur germinative des semences et la fibre qu'elle colore. Des excroissances typiques des piqûres de punaises apparaissent dans les capsules. Les *Dysdercus* se développent essentiellement sur les plantes de la famille du cotonnier et sur celles de la famille du kapokier et du baobab dont la présence favorise leur pullulation. Cependant, ils peuvent aussi effectuer leur cycle sur le sorgho et le maïs.

Coleopteres et Altises

Nisotra sp et Podagrica sp

Ces petits insectes très mobiles ont plusieurs couleurs. Ils font de nombreux trous dans les feuilles des jeunes cotonniers sans glandes à gossypol (glandless). Les dégâts sont surtout dangereux sur jeune plantule.

Aphis gossypii Glover (Homoptera Aphididae)

Ils vivent essentiellement sur la face inférieure des feuilles mais peuvent aussi coloniser d'autres parties vertes de la plante. Ils se reproduisent très vite et sont favorisés par un temps chaud et sec. Ils sont souvent en colonies où les individus peuvent être jaune, vert jaune ou vert noir avec ou sans ailes. Ils s'alimentent en suçant la sève des plants dans lesquels ils injectent leur salive. Ceci provoque une crispation des feuilles qui se gaufrent, le bord se recourbant vers le bas. On les rencontre sur cotonnier en début de cycle sur jeunes plantules où ils appréhendent bien les jeunes feuilles du bourgeon terminal, puis en fin de cycle sur cotonniers âgés à l'ouverture des capsules. Sur jeunes plantules les dégâts faits au feuillage retardent et limitent le développement des plants. Les déchets qui sont des substances sucrées (miellat) tombent sur les feuilles et la fibre. La fibre ainsi souillée 'coton collant', brille et peut, à cause de la présence de champignon devenir noir : c'est la fumagine.

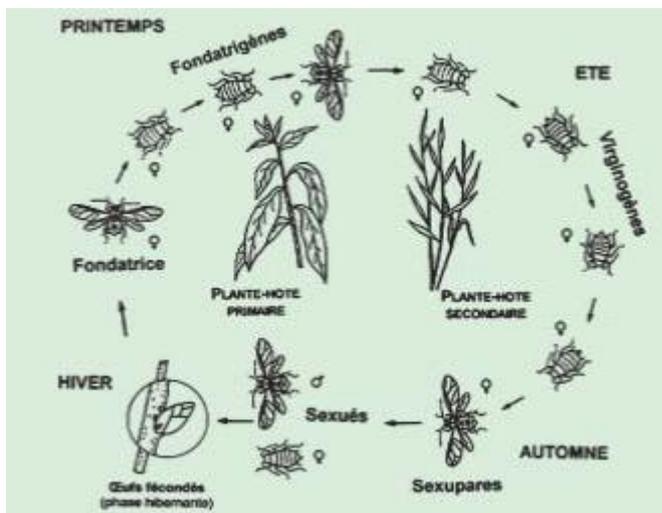


Photo 9 : Cycle de reproduction hétéroécique (dessin C. Villemant) et colonie de *A. gossypii*



Photo 10 : Dégâts de *Aphis gossypii* (coton collant/ souillé)

***Bemisia tabaci* (Homoptera Aleyrodidae)**

Les adultes sont de tous petits insectes avec deux paires d'ailes blanches. Ils sont très mobiles et volent autour des plants lorsqu'ils sont dérangés. Les larves ont une forme ovoïde, aplatie et sont vertes lorsqu'elles sont jeunes. Les plus âgées sont jaunâtres. Elles sont fixées à la face inférieure des feuilles. De fortes populations provoquent un jaunissement des feuilles et perturbent le développement des plants. Comme les pucerons, ils produisent aussi du miellat qui souille le coton des capsules ouvertes. Ce ravageur est aussi très polyphage, on le trouve donc sur de nombreuses autres plantes cultivées en particulier des cultures maraîchères comme la tomate.



Photo 11 : Mouches blanches (coton souillé par *B. tabaci*)

8.3- les ravageurs des racines

***Syagrus calcaratus* F. (Coleoptera chrysomelidae)**

Petit coléoptère bleu-noir brillant dont le thorax et la base des pattes sont orange fauve. Les larves de *Syagrus calcaratus* vivent dans le sol où elles s'alimentent sur les racines qu'elles décortiquent. Cette consommation des racines provoque un flétrissement des plants. Les adultes consomment le feuillage dans lequel ils provoquent des perforations de forme allongée.

9- Faune utile

9.1- Les prédateurs

Les prédateurs sont les espèces qui consomment leur proie en la tuant immédiatement, ce sont les espèces utiles les plus visibles. Il s'agit des chrysopes, syrphes et coccinelles qui consomment des pucerons, des aleurodes et accessoirement des oeufs de papillons. Leur utilisation entre dans le cadre de la lutte biologique.



Photo 12 : Quelques prédateurs de ravageurs du cotonnier

9.2 - Les parasitoïdes

Les parasitoïdes sont aussi des insectes utiles comme les prédateurs, mais ils sont généralement beaucoup plus petits et moins visibles. Ils sont cependant présents et aident à protéger les champs. Ils ne tuent pas immédiatement leur hôte mais s'y développent lentement. Ils sont appelés des « amis de l'agriculture ».



Photo 13 : Quelques parasitoïdes de ravageurs du cotonnier

10- Maladies et déficience minérale

10.1- Maladies

Les agents pathogènes responsables des maladies du cotonnier peuvent être des champignons, des bactéries, des virus ou des mycoplasmes.

a) Fonte de Semis

Plusieurs maladies provoquent ce que l'on appelle fonte de semis c'est-à-dire qu'elles induisent la pourriture des graines en cours de germination, la nécrose des jeunes racines, ou une pourriture du collet des plantules. Les principaux agents pathogènes qui sont impliqués dans la fonte de semis du cotonnier peuvent être portés par les graines elles - mêmes ou sont déjà présents dans le sol au moment du semis. Les agents portés par les graines sont les champignons : *Colletotrichum gossypii* (infection uniquement externe) et *Fusarium oxysporum* f .sp. *vasinfectum* (infection externe et interne) et la bactérie *Xanthomonas campestris* pv. *Malvacearum* (infection externe et interne). Les infections fongiques externes peuvent être éliminées par un traitement fongicide ou par le traitement à l'acide sulfurique utilisé lors du délintage dans plusieurs pays ; ce dernier élimine également les infections bactériennes externes. Les principaux champignons pathogènes présents dans le sol sont *Rhizoctonia solani*, *Pythium spp.*, *Sclerotium rolfsii* et *Macrophomina phaseolina*. D'autres champignons peuvent également être responsables de pourridés. Il s'agit de formes *Lignosus*

et d'*Armillaria mellea* dont les infections se manifestent le plus souvent lorsque le cotonnier est cultivé après le manioc et sur des parcelles récemment déforestées.

b) Bactériose

Elle est la maladie la plus répandue sur cotonnier au Bénin. Son importance économique est variable. Les attaques portent sur tous les organes aériens, (feuilles, tiges, branches, capsules, etc....) du début à la fin du cycle. Les symptômes foliaires sont des taches anguleuses et huileuses, ceux sur tiges des chancres, puis des pourritures sur capsules.

10.2 Déficience en potassium

Cette déficience apparaît surtout sur la terre de barre, en particulier dans le Sud du Zou et dans les départements côtiers. Les premières. On la reconnaît par :

- la présence des taches jaunâtres entre les nervures des feuilles dont les bords prennent une couleur brune.
- à un stade plus avancé, les feuilles se dessèchent complètement mais restent accrochées comme des « chauves-souris » aux plants.

11. Problématique et contraintes abordées

Le secteur cotonnier africain est aujourd'hui confronté à de multiples problèmes : les niveaux de rendement sont bas, les coûts de production sont élevés. Le coût mondial du coton est souvent en baisse en raison des fortes subventions accordées à la culture dans les pays développés engendrant une concurrence déloyale sur le marché international etc. L'incertitude sur le prix d'achat du coton graine aux producteurs et l'accès aux facteurs de production entraîne une méfiance et une modification du comportement des producteurs vis à vis de cette culture. Floquet et al. (2002) constatent une moindre disponibilité de la main d'oeuvre pour cette activité. En parallèle, on observe une moindre efficacité des produits classiques vis-à-vis de la protection phytosanitaire de la culture. A titre d'illustration, Ferron et al. (2002) ont mis en évidence l'acquisition d'une résistance aux pyrétrinoïdes de la part de *Helicoverpa armigera*, principal ravageur du cotonnier au Bénin. Le recours à de nouvelles molécules renchérit le coût de la protection phytosanitaire. Enfin, dans un contexte hautement compétitif, la production d'une fibre de qualité représente un argument de poids dans la négociation des contrats pour le coton béninois. Outre la longueur fortement liée à des facteurs variétaux, la maturité des fibres (impact sur la prise de teinture) et le collage sont des caractéristiques liées aux conditions de culture.

Au Bénin comme dans la plupart des pays producteurs de coton de l'Afrique de l'ouest et du centre, la culture est essentiellement pluviale, donc tributaire des aléas pluviométriques. Dans les régions septentrionales du Bénin, l'installation tardive des pluies ces dernières années dans le nord limite fortement le temps de préparation des sols et empêche assez souvent une bonne installation des cultures ce qui entraîne des semis tardifs. L'analyse de

cette contrainte a révélé que les pertes encourues par les coton cultures sont très élevées soit 30 à 35% de la production.

Face à ces difficultés, la recherche est sollicitée pour contribuer à résoudre les problèmes de rentabilité de la production cotonnière. Le présent travail s'inscrit dans ce cadre et contribue à rechercher les itinéraires favorisant une meilleure allocation des assimilats aux organes fructifères dans le but d'optimiser le rendement de la culture en fonction des conditions climatiques subies par la plante.

En effet, le cotonnier est une plante à croissance indéterminée. Le développement végétatif ne s'arrête pas avec l'entrée en floraison comme c'est le cas pour d'autres plantes comme le maïs par exemple. De ce fait, la poursuite de la croissance végétative se fait en compétition avec la mise en place de nouveaux organes fructifères et le développement de fruits déjà installés. Ainsi, les carbohydrates issus de la photosynthèse sont utilisés à la fois pour la poursuite de la croissance, la mise en place de nouveaux organes fructifères et la maturation des fruits déjà installés. Les assimilats se répartissent entre organes fructifères (bourgeons, fleurs et capsules) et végétatifs (racines, tiges et feuilles) de telle manière que la plante ralentit progressivement sa croissance végétative au fur et à mesure que les capsules se mettent en place. Lorsque la plante porte toute la charge fructifère qu'elle est capable de supporter, la floraison et la croissance s'arrêtent ; ce stade est appelé "cutout". La régulation de l'équilibre entre croissance végétative et fructifère est ainsi d'une importance capitale dans l'élaboration du rendement en culture cotonnière.

Aux USA, et dans la plupart des pays qui en ont les moyens, en dehors de la sélection des variétés précoces et compactes, des régulateurs de croissance sont utilisés pour réduire, à partir de la floraison la croissance végétative au profit du développement fructifère. Ceci contribue à diriger une plus grande partie des assimilés vers les puits fructifères.

En Chine, les producteurs font recours à des techniques de taille qui consistent soit à supprimer les branches végétatives, soit à écimer des bourgeons terminaux des branches fructifères ou l'extrémité de la tige principale (tipping out ou topping).

Dans les paysans de culture pluviale comme le Bénin où la durée du cycle des pluies utiles pour la culture peut s'avérer parfois insuffisante, la technologie de taille des cotonniers pourrait permettre aux producteurs de piloter la durée de cycle et l'équilibre entre croissance végétative et fructifère en regard d'objectifs de rendement et de qualité d'une production accrue. Cette pratique se substitue à l'emploi de régulateurs de croissance dont le coût viendrait limiter le revenu des producteurs.