

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

REPUBLIQUE DU MALI

Un peuple - Un But - Une Foi

UNIVERSITE DES SCIENCES TECHNIQUES ET DES TECHNOLOGIES DE BAMAKO



U.S.T.T-B



FACULTE DE PHARMACIE

**DETECTION DES OGM DANS LES DENREES
ALIMENTAIRES COURAMMENT CONSOMMEES A
BAMAKO (cas des céréales, fruits et légumes).**

Présentée et soutenue publiquement le /01/02/2024 devant le jury de la Faculté
de Pharmacie

Par Mme. **Awa Niogo TRAORE**

Pour l'obtention du grade de Docteur en Pharmacie
(DIPLOME D'ETAT)

Jury

Président : Pr Ababacar I. MAIGA Professeur FAPH

Directeur de thèse : Pr Ousmane KOITA Professeur FAPH

Co-directeur de thèse : Mr Ibrahim TRAORE Attache de Recherche LBMA

Membres Pr Djénèba DABITAO Maitre de Conférences

Dr Moussa DEMBELE (Invité) Maitre-Assistant FDPRI

**LISTE DES MEMBRES DE L'ADMINISTRATION ET DU
CORPS ENSEIGNANT A LA FACULTÉ DE PHARMACIE
ANNÉE UNIVERSITAIRE 2022-2023**

➤ **ADMINISTRATION**

Doyen : Boubacar TRAORE, Professeur

Vice-doyen : Sékou BAH, Maître de Conférences

Secrétaire principal : Seydou COULIBALY, Administrateur Civil

Agent comptable : Ismaël CISSE, Contrôleur des Finances.

➤ **PROFESSEURS HONORAIRES**

N°	PRÉNOMS	NOM	SPÉCIALITÉ
1	Flabou	BOUGOUDOGO	Bactériologie-Virologie
2	Boubacar Sidiki	CISSE	Toxicologie
3	Bakary Mamadou	CISSE	Biochimie
4	Abdoulaye	DABO	Malacologie — Biologie animale
5	Daouda	DIALLO	Chimie Générale et Minérale
6	Mouctar	DIALLO	Parasitologie-mycologie
7	Souleymane	DIALLO	Bactériologie - Virologie
8	Kaourou	DOUCOURE	Physiologie humaine
9	Ousmane	DOUMBIA	Chimie thérapeutique
10	Boukassoum	HAÏDARA	Législation
11	Gaoussou	KANOUTE	Chimie analytique
12	Alou A.	KEÏTA	Galénique
13	Mamadou	KONE	Physiologie
14	Brehima	KOUMARE	Bactériologie/Virologie
15	Abdourahamane S.	MAÏGA	Parasitologie
16	Saïbou	MAÏCA	Législation
17	Elimane	MARIKO	Pharmacologie
18	Mahamadou	TRAORE	Génétique
19	Sékou Fantamadv	TRAORE	Zoologie
20	Yaya	COULIBALY	Législation

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

➤ PROFESSEURS DÉCÉDÉS

N°	PRÉNOMS	NOMS	SPÉCIALITÉ
1	Mahamadou	CISSE	Biologie
2	Drissa	DIALLO	Pharmacognosie
3	Moussa	HARAMA	Chimie analytique
4	Mamadou	KOUMARE	Pharmacognosie
5	Moussa	SANOGO	Gestion pharmaceutique

➤ DER : SCIENCES BIOLOGIQUES ET MÉDICALES

1. PROFESSEUR/DIRECTEUR DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOMS	GRADE	SPÉCIALITÉ
1	Mounirou	BABY	Professeur	Hématologie
2	Mahamadou	DIAKITE	Professeur	Immunologie-Génétique
3	Alassane	DICKO	Professeur	Santé Publique
4	Abdoulaye	DJIMDE	Professeur	Parasitologie-Mycologie
5	Amagana	DOLO	Professeur	Parasitologie-Mycologie
6	Aldjouma	GUINDO	Professeur	Hématologie. Chef de DER
7	Akory Ag	IKNANE	Professeur	Santé Publique/Nutrition
8	Kassoum	KAYENTAO	Directeur de recherche	Santé publ./ Bio-statistique
9	Ousmane	KOITA	Professeur	Biologie-Moléculaire
10	Issaka	SAGARA	Directeur de recherche	Bio-statistique
11	Boubacar	TRAORE	Professeur	Parasitologie-Mycologie

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

2. MAITRE DE CONFÉRENCES/MAITRE DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOMS	GRADE	SPÉCIALITÉ
1	Bourèma	KOURIBA	Maître de conférences	Immunologie
2	Almoustapha Issiaka	MAÏGA	Maître de recherche	Bactériologie-Virologie
3	Mahamadou S.	SISSOKO	Maître de recherche	Bio-statistique
4	Ousmane	TOURE	Maître de recherche	Santé Publiq/Santé environ.
5	Djibril Mamadou	COULIBAL Y	Maître de conférences	Biochimie clinique
6	Djénéba Coumba	DABITAO	Maître de conférences	Biologie-moléculaire
7	Antoine	DARA	Maître de conférences	Biologie-moléculaire
8	Souleymane	DAMA	Maître de conférences	Parasitologie - Mycologie
9	Laurent	DEMBELE	Maître de conférences	Biotechnologie-Microbienne
10	Seydina S. A.	DIAKITE	Maître de conférences	Immunologie
11	Fatou	DIAWARA	Maître de conférences	Épidémiologie
12	Ibrahima	GUINDO	Maître de conférences	Bactériologie Virologie
13	Amadou Birama	NIANGALY	Maître de conférences	Parasitologie – Mycologie
14	Fanta	SANGO	Maître de conférences	Santé publ/Santé commun.
15	Yéya dit Dadio	SARRO	Maître de conférences	Épidémiologie

3. MAITRE ASSISTANT/CHARGE DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOMS	GRADE	SPÉCIALITÉ
1	Mohamed	AG BARAIKA	Maître-Assistant	Bactériologie-Virologie
2	Charles	ARAMA	Maître-Assistant	Immunologie
3	Boubacar Tiétiè	BISSAN	Maître-Assistant	Biologie clinique
4	Seydou Sassou	COULIBALY	Maître-Assistant	Biochimie Clinique
5	Klétigui Casimir	DEMBELE	Maître-Assistant	Biochimie Clinique
6	Yaya	GOITA	Maître-Assistant	Biochimie Clinique
7	Aminatou	KONE	Maître-Assistant	Biologie moléculaire
8	Birama Apho	LY	Maître-Assistant	Santé publique
9	Dinkorma	OUOLOGUEM	Maître-Assistant	Biologie Cellulaire

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

4. ASSISTANT/ATTACHE DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOMS	GRADE	SPÉCIALITÉ
1	Djénéba	COULIBALY	Assistant	Nutrition/Diététique
2	Issa	DIARRA	Assistant	Immunologie
3	Merepen dit Agnès	GUINDO	Assistant	Immunologie
4	Falaye	KEITA	Attaché de Recherche	Santé Publique/Santé Environn.
5	N'Deye Lallah Nina	KOITE	Assistant	Nutrition
6	Djakaridia	TRAORE	Assistant	Hématologie

➤ DER : SCIENCES PHARMACEUTIQUES

1. PROFESSEUR/DIRECTEUR DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	Grade	SPÉCIALITÉ
1	Rokia	SANOGO	Professeur	Pharmacognosie Chef de DER

2. MAITRE DE CONFÉRENCES/MAITRE DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	Grade	SPÉCIALITÉ
1	Loséni	BENGALY	Maitre de Conférences	Pharmacie hospitalière
2	Mahamane	HAIDARA	Maitre de Conférences	Pharmacognosie

3. MAITRE ASSISTANT/CHARGE DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	Grade	SPÉCIALITÉ
1	Bakary Moussa	CISSE	Maitre-Assistant	Galénique
2	Issa	COULIBALY	Maitre-Assistant	Gestion
3	Balla Fatogoma	COULIBALY	Maitre-Assistant	Pharmacie hospitalière
4	Adama	DENOU	Maitre-Assistant	Pharmacognosie
S	Hamma Boubacar	MAÏGA	Maitre-Assistant	Galénique
6	Adiaratou	TOGOLA	Maitre-Assistant	pharmacognosie

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

4. ASSISTANT/ATTACHE DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	Grade	SPÉCIALITÉ
1	Seydou Lahaye	COULIBALY	Assistant	Gestion pharmaceutique
2	Daouda Lassine	DEMBELE	Assistant	Pharmacognosie
3	Sékou	DOUMBIA	Assistant	Pharmacognosie
4	Assitan	KALOGA	Assistant	Législation
5	Ahmed	MAÏGA	Assistant	Législation
6	Aichata Ben Adam	MARIKO	Assistant	Galénique
7	Aboubacar	SANGHO	Assistant	Législation
8	Bourama	TRAORE	Assistant	Législation
9	Sylvestre	TRAORÉ	Assistant	Gestion pharmaceutique
10	Aminata Tiéba	TRAORE	Assistant	Pharmacie hospitalière
11	Mohamed dit Sarmove	TRAORE	Assistant	Pharmacie hospitalière

➤ DER : SCIENCES DU MÉDICAMENT

1. PROFESSEUR/DIRECTEUR DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	Grade	SPÉCIALITÉ
1	Sékou	BAH	Professeur	Pharmacologie
2	Benoit Yaranga	KOUMARE	Professeur	Chimie Analytique
3	Ababacar I.	MAÏGA	Professeur	Toxicologie

1. MAITRE DE CONFÉRENCES/MAITRE DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	Grade	SPÉCIALITÉ
1	Tidiane	DIALLO	Maitre de Conférences	Toxicologie
2	Hamadoun Abba	TOURE	Maitre de Conférences	Bromatologie Chef de DER

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

2. MAITRE ASSISTANT/CHARGE DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	Grade	SPÉCIALITÉ
1	Dominique Patomo	ARAMA	Maitre-Assistant	Pharmacie chimique
2	Mody	CISSE	Maitre-Assistant	Chimie thérapeutique
3	Ousmane	DEMBELE	Maitre-Assistant	Chimie thérapeutique
4	Madani	MARIKO	Maitre-Assistant	Chimie Analytique
5	Karim	TRAORE	Maître-Assistant	Pharmacologie

3. ASSISTANT/ATTACHE DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	Grade	SPÉCIALITÉ
1	Mahamadou	BALLO	Assistant	Pharmacologie
2	Dalave Bernadette	COULIBALY	Assistant	Chimie analytique
3	Blaise	DACKOUO	Assistant	Chimie Analytique
4	Fatoumata	DAOU	Assistant	Pharmacologie
5	Abdourahamane	DIARA	Assistant	Toxicologie
6	Aiguerou dit Abdoulaye	GUINDO	Assistant	Pharmacologie
7	Mohamed El Béchir	NACO	Assistant	Chimie analytique
8	Mahamadou	TANDIA	Assistant	Chimie Analytique
9	Dougoutigui	TANGARA	Assistant	Chimie analytique

➤ DER : SCIENCES FONDAMENTALES

1. PROFESSEUR/DIRECTEUR DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	Grade	SPÉCIALITÉ
-	-	-	-	-

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

2. MAITRE DE CONFÉRENCES/MAITRE DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	Grade	SPÉCIALITÉ
1	Lassana	DOUMBIA	Maitre de Conférences	Chimie appliquée
2	Abdoulaye	KANTE	Maitre de Conférences	Anatomie
3	Boubacar	YALCOUYE	Maitre de Conférences	Chimie organique

3. MAITRE ASSISTANT/CHARGE DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	Grade	SPÉCIALITÉ
1	Mamadou Lamine	DIARRA	Maitre-Assistant	Botanique-Biol. Végét Chef de DER
2	Boureima	KELLY	Maître-Assistant	Physiologie médicale

4. ASSISTANT/ATTACHE DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	Grade	SPÉCIALITÉ
1	Seydou Simbo	DIAKITE	Assistant	Chimie organique
2	Modibo	DIALLO	Assistant	Génétique
3	Moussa	KONE	Assistant	Chimie Organique
4	Massiriba	KONE	Assistant	Biologie Entomologie

➤ CHARGES DE COURS (VACATAIRES)

N°	PRÉNOMS	NOM	SPÉCIALITÉ
1	Cheick Oumar	BAGAYOKO	Informatique
2	Babou	BAH	Anatomie
3	Souleymane	COULIBALY	Psychologie
4	Yacouba M	COULIBALY	Droit commercial
5	Moussa I	DIARRA	Biophysique
6	Satigui	SIDIBÉ	Pharmacie vétérinaire
7	Sidi Boula	SISSOKO	Histologie-embryologie
8	Fana	TANGARA	Mathématiques
9	Djénébou	TRAORE	Sémiologie et Pathologie médicale
10	Mahamadou	TRAORE	Génétique
11	Boubacar	ZIBEÏROU	Physique

DEDICACES

A ALLAH LE TOUT PUISSANT LE MISECORDIEUX LE TOUT SACHANT

A MA MERE : les mots me manquent et seraient insuffisants pour t'exprimer mon amour et ma reconnaissance éternelle pour ton sacrifice et ton dévouement à mon égard. Je t'aime et je prie Dieu pour qu'Il t'accorde une longue vie. Amine

A MON PERE : Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices déployés pour notre éducation, tu as été pour nous un exemple de courage, de persévérance et de franchise dans l'accomplissement du travail bien fait. Vous nous avez appris le sens de l'honneur, de la dignité, de la justice et du respect de soi. Tu as toujours souhaité le meilleur pour nous. Tu as fourni beaucoup d'efforts aussi bien physiques et moraux à notre égard. Tu n'as jamais cessé de nous encourager et de prier pour nous. C'est grâce à tes percepts que nous avons appris à compter sur nous-mêmes. Tu mérites sans conteste qu'on vous décerne le prix « Père Exemple ». Papa : je t'aime et j'implore le tout puissant pour Qu'il t'accorde une longue vie heureuse dans la santé et la quiétude.

A MES FRERE ET SOEURS : Amadou, Aissata, Aminata, Massitan, l'amour qui nous lie est unique. Qu'Allah nous accorde une longue vie, une santé de fer et une réussite complète dans l'accomplissement de nos objectifs.

A MON MERVEILLEUX EPOUX : aucun mot ne saurait exprimer mon amour et ma gratitude pour toi. Tu m'as toujours soutenu, encouragé à donner le meilleur de moi-même. Merci pour ta patience, ton attention et cette constante bienveillance à mon égard. Qu'Allah te préserve et qu'Il nous accorde une longue vie ensemble.

A MA VIE MON BEBE MIRACLE DIAHARA FATOUMATA IBN SOULEYMANE :

Tu es ma source de joie tu es entrée dans ma vie et tu l'as éclairé et illuminé par ta joie et ton attachante innocence. Que Dieu t'accorde une longue vie.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements les plus sincères et les plus chaleureux s'adressent :

A Allah, le Tout Puissant qui m'a permis de réaliser ce modeste travail

A tous les membres de la famille Traoré

Merci pour votre soutien et vos bénédictions

A tous les membres de la famille Diop

Merci pour vos conseils et bénédictions

A mon oncle N'tjie Moussa Sidibé

Merci pour ton soutien indéfectible

A mon oncle Prof Boubacar Traoré et ma tante Latrèche Nadia

Merci pour votre accueil, votre accompagnement et votre soutien

À l'administration et au corps professoral de la Faculté de Pharmacie :

Chers Maîtres, nous vous remercions pour les connaissances que vous nous avez transmises. Nous retenons de vous des Hommes scientifiques, pédagogues, honnêtes, sincères et exemplaires. Merci pour la qualité de la formation.

Au Professeur Ousmane Koita

Votre rigueur, votre persévérance et votre compétence sortent du commun. J'ai admiré en vous la simplicité, la disponibilité partout et la cordialité. Ce travail vous le savez Professeur est le résultat de votre assistance et de votre soutien matériel. Que Dieu vous donne une récompense Juste.

A Lazéni Konaté et Yacouba Dansoko

Merci pour l'enseignement, l'accompagnement. Vous avez été d'un soutien indéfectible au quotidien. Ce travail est le résultat de votre assistance. Que Dieu vous récompense de la plus belle manière.

A Ibrahim Traoré

Merci pour l'enseignement et votre disponibilité. Que Dieu vous récompense.

A Mme Mama Diarra, AEDD

Merci pour votre accompagnement.

Au personnel du Laboratoire de Biologie Moléculaire Appliquée

Merci pour l'accueil chaleureux, la formation et la franche collaboration.

Au personnel de la Pharmacie Tieba

Merci pour le respect, la convivialité et la considération.

Au personnel de la Pharmacie Saha

Merci pour le respect, la considération, la convivialité.

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommées au Mali

À mes aînés, à mes amis particuliers et à tous ceux avec qui je suis liée par la vie et le travail. Vous êtes trop nombreux pour tous vous citer. Je vous remercie sincèrement. Puisse ALLAH le tout Puissant vous bénir davantage.

À tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail et qui n'ont pas été cités, trouvez ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Hommages aux honorables membres

A notre Maître et Président

Professeur Ababacar I MAIGA

- **Professeur titulaire en toxicologie à la Faculté de Pharmacie,**
- **Vice Doyen de la faculté de Pharmacie.**
- **Membre de la commission des experts de la commission Nationale des autorisations de mise sur le marché, des aliments pour animaux et des additifs alimentaires (CNAMM)**
- **Membre du comité technique de Pharmacovigilance**

Honorable maître

Vous nous faites un grand honneur en acceptant de présider ce jury malgré vos multiples tâches. Votre disponibilité, votre dévouement pour la formation de vos étudiants, votre amour pour le travail bien fait, vos qualités d'homme de science et de culture font de vous un exemple à suivre. Cher maître veuillez accepter, l'expression de notre gratitude et de notre profond respect.

A notre Maitre et Juge

Professeur Djénèba DABITAO

- **Docteur en Pharmacie**
- **PhD en Biologie Moléculaire/ Immunologie**
- **Maitre Assistante à la Faculté de Pharmacie**
- **Chef du Laboratoire ImmunoCore de l'UCRC**

Chère maitre

Nous sommes très honorés que vous soyez parmi les membres du jury ayant dirigé les travaux de notre thèse. C'est une grande chance pour nous de recevoir les enseignements d'une maitresse d'une immense capacité scientifique comme vous. Malgré vos multiples occupations, vous nous avez accordé de votre temps pour améliorer ce travail. Nous vous remercions pour tous vos conseils et encouragements.

Veillez accepter, chère maitre, l'expression de notre profonde gratitude.

A notre Maître et Juge

Dr Moussa DEMBELE

- **Juriste environnementaliste et spécialiste en Biosécurité**
- **Chef de département accords, traités et conventions de l'Agence de l'environnement et du développement durable du Mali (AEDD)**
- **Point focal national du Protocole de Cartagena sur la prévention des risques biotechnologiques**

Cher Maître

Votre abord facile, votre générosité, votre calme et votre sourire ont tout le temps suscité notre admiration. Votre amour pour le travail bien fait, votre disponibilité permanente et votre rigueur scientifique font de vous un maître exemplaire. Recevez cher maître nos sincères remerciements et notre attachement. Puisse Dieu vous bénir davantage et fasse prospérer vos souhaits.

A notre Maitre et Directeur de thèse

Professeur Ousmane KOITA

- **Professeur titulaire en biologie à la FAPH**
- **Chef du Laboratoire de Biologie Moléculaire Appliquée à la FAST**

Cher Maitre,

Vous nous avez fait un grand honneur en acceptant de diriger ce travail malgré vos multiples et importantes occupations. Votre disponibilité, votre souci constant du travail bien fait et vos multiples qualités humaines et sociales font de vous un homme admirable. Dès nos premiers pas dans cette faculté nous avons été impressionnés par votre sens élevé de la personne humaine. Vos qualités d'homme de science de culture et de chercheur font de vous un exemple à suivre. Qu'il nous soit permis ici cher maître de vous exprimer nos sentiments d'estime et de profonde reconnaissance

A notre Maitre et Co-directeur de thèse

Mr Ibrahim TRAORE

- **Assistant de recherche au Laboratoire de Biologie Moléculaire Appliquée**
- **Responsable des analyses du Laboratoire National de Biosécurité**

Cher maitre,

La spontanéité avec laquelle vous avez accepté de siéger dans ce jury de thèse témoigne de votre générosité. Vous nous avez fait l'honneur de codiriger ce travail.

Nous ne cesserons de remercier l'Eternel pour avoir mis sur notre chemin un homme aux qualités humaines et professionnelles rarissimes comme vous.

Votre modestie et surtout votre grande culture scientifique font de vous un Maître admiré et respecté par tous. Qu'il nous soit permis cher Maître de vous remercier pour les journées entièrement consacrées à notre formation et à l'amélioration de ce travail et de vous exprimer nos sentiments les plus respectueux et plein de reconnaissance. Puisse Dieu vous accompagner dans toutes vos entreprises.

SIGLES ET ABREVIATIONS

ADN	Acide désoxyribonucléique
BCH	Biosafety Clearing-House
CaMV	Virus de la mosaïque du chou-fleur (Cauliflower mosaic virus)
CNOP	Conseil National de l'Ordre des Pharmaciens
CRISPR	Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats
CTAB	Bromure de Cétyle Méthyle Ammonium
DNTP	Désoxyribonucléique triphosphate
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GM	Génétiquement Modifié
HPLC	Chromatographie en Phase Liquide à Haute Performance
IER	Institut d'Economie Rurale
LAMP	Loop Mediated Isothermal Amplification
LBMA	Laboratoire de Biologie Moléculaire Appliquée
Mg²⁺	Ion Magnésium
Ng	Nano gramme
NGS	Next-Generation Sequencing
OGM	Organisme Génétiquement Modifié
OVM	Organisme Vivant Modifié
P35S	Promoteur 35s du virus de la mosaïque de la choux fleur
pb	Paire de Base
PCR	Polymerase Chain Reaction
PFMV	Promoteur du Virus de la Mosaïque Figworth
TNOS	Termineur de Nopaline Synthase d' <i>Agrobacterum Tumefaciens</i>
µL	Micro litre

Liste des Tableaux

Tableau I: séquences des gènes recherches et leurs tailles attendues	18
Tableau II: Composition du mélange réactionnel (volume en μL)	19
Tableau III: Paramètres d'amplification de la PCR avec l'amorce PLANT	20
Tableau IV: Composition du mélange réactionnel (volume pour une réaction en μL)	21
Tableau V : Paramètres d'amplification de la PCR avec l'amorce P35S	22
Tableau VI: Composition du mélange réactionnel (volume pour une réaction en μL)	23
Tableau VII: Paramètres d'amplification de la PCR avec l'amorce TNOS	24
Tableau VIII : Composition du mélange réactionnel (volume en μL) pour la PCR P-FMV. 25	
Tableau IX: Paramètres d'amplification de la PCR avec l'amorce P-FMV	26
Tableau X: Résultats des questionnaires d'enquête au moment de l'échantillonnage	27
Tableau XI: Résultat d'amplification du gène PLANT	29
Tableau XII: Analyse des échantillons de fruits, légumes et céréales testés pour la présence de marqueurs spécifiques aux OGM.	33
Tableau XIII: Répartition des OGM selon la nature de l'échantillon	35
Tableau XIV: Lieu d'échantillonnage des OGM.....	36
Tableau XV: Répartition des OGM en fonction des Communes	37
Tableau XVI: Répartition des OGM en fonction des marqueurs.....	38
Tableau XVII: Conformité des échantillons positifs collectés au protocole de Cartagena (Etiquetage)	39

Liste des figures

Figure 1: Illustration de la technique de transgénèse	11
Figure 2: Carte du district de Bamako.....	14
Figure 3 : Incubateur (Etuve Binder)	16
Figure 4: Mortier et pilon en porcelaine.....	16
Figure 5: Tube Eppendorf de 1.5 contenant l'ADN.....	17
Figure 6: Spectrophotomètre Eppendorf	17
Figure 7: Thermocycler Eppendorf	18
Figure 8: Image du gel d'électrophorèse de la PCR avec l'amorce PLANT.	28
Figure 9: Image du gel d'électrophorèse après PCR par l'amorce P35S.	30
Figure 10: Image du gel d'électrophorèse de la PCR avec l'amorce TNOS.....	31
Figure 11: Image du gel d'électrophorèse de la PCR avec l'amorce P-FMV.....	32
Figure 12: Type des échantillons testés positifs.....	34

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Contexte général	1
1.2	Justification de l'étude	4
2	Objectifs	5
2.1	Objectif Principal	5
2.2	Objectifs spécifiques	5
3	Généralités.....	6
3.1	Situation des OGM au Mali.....	6
3.2	Les biotechnologies agricoles ou végétales.....	7
3.3	Cellules, chromosomes, ADN et protéines.....	8
3.4	Techniques utilisées pour la création des OGM.....	8
3.5	Techniques de détection moléculaire des OGM.....	11
3.6	Avantage des OGM	12
3.7	Inconvénients des OGM	13
3.8	Impacts sur la santé humaine.....	13
3.9	Généralités sur les OGM en Afrique	13
4	Méthodologie	14
4.1	Types et période d'étude.....	14
4.2	Matériels	15
4.2.1	Critères d'inclusion	15
4.3	Critères de non inclusion	15
4.4	Description du questionnaire	15
4.5	Echantillonnage	15
4.6	Détection moléculaire de la présence de marqueurs spécifiques aux OGM	15
4.6.1	Décongélation des échantillons.....	15
4.6.2	Séchage au laboratoire des échantillons collectés.....	16

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

4.6.3	Extractions d'ADN des échantillons collectés	16
4.6.4	Vérification qualitative et quantitative de l'ADN	16
4.7	Amplification des marqueurs de dépistages pour l'identification des OGM	18
5	Résultats	27
5.1	Les résultats des enquêtes	27
5.2	Détection moléculaire de la présence de marqueurs spécifiques aux OGM	28
5.2.1	Résultats de la PCR pour la présence du gène Plant	28
5.2.2	Résultat de la PCR pour la présence du gène P35S	30
5.2.3	Résultat de la PCR pour la présence du gène TNOS	31
5.2.4	Résultat de la PCR pour la présence du gène PFMV	32
5.3	Détermination de l'origine des céréales ainsi que les fruits et légumes importées dans le district de Bamako	35
6	Commentaires et discussion	40
7	Conclusion et Recommandations	43
7.1	Conclusion	43
7.2	Recommandations	44
8	Références bibliographiques	45

1 Introduction

1.1 Contexte général

L'agriculture est un secteur clé de l'économie malienne, employant environ 80% de la population et représentant plus de 35% du produit intérieur brut national [1]. Le Mali possède un énorme potentiel agricole inexploité en raison de sa diversité agro écologique, avec des systèmes basés sur le coton au sud, des systèmes d'oasis tout au nord, des systèmes de culture de céréales sèches et des systèmes pastoraux [1]. Au Mali, la saison agricole 2020/2021 a été fructueuse. Selon les dernières données publiées par le ministère de l'Agriculture, la production de céréales a grimpé à 10,4 millions de tonnes au terme de ladite campagne, soit une légère hausse par rapport au résultat de l'année précédente (10,3 millions de tonnes). Dans les détails, le maïs et le riz continuent de porter la filière représentant plus de 67 % du stock total. Les deux graminées ont vu leurs productions progresser en 2020/2021 respectivement à 3,8 millions de tonnes et 3,19 millions de tonnes [2]. A ces céréales majeures pour la consommation, s'ajoutent le mil et le sorgho qui ont connu de leur côté, des baisses d'une année sur l'autre avec respectivement 51,87 millions de tonnes et 1,5 million de tonnes. Viennent ensuite, le fonio (40 553 tonnes) et le blé (8 226 tonnes) également en repli durant la saison. Les céréales sont les principales cultures vivrières du Mali, avec une production annuelle d'environ 10,4 millions de tonnes en 2020/2021 [1]. Les fruits et légumes sont également importants pour l'alimentation et la nutrition des populations maliennes. Les fruits cultivés au Mali comprennent les mangues, les oranges, les bananes et les papayes, tandis que les légumes cultivés comprennent les tomates, les oignons, les aubergines et les poivrons. L'agriculture est donc un secteur vital pour le Mali, fournissant des emplois et des moyens de subsistance à la majorité de la population tout en contribuant à la sécurité alimentaire et à la nutrition [1],[2]. Le Mali est le deuxième pays producteur de riz d'Afrique de l'Ouest avec plus de 2 millions de tonnes par an. Le riz est la céréale dont la consommation moyenne par habitant est la plus élevée au Mali, les niveaux de consommation en riz atteignent environ 70 kg/an par habitant [3].

Introduction aux Organisme Génétiquement Modifié (OGM) :

Le Mali est un pays avec une population toujours en constante évolution avec un taux d'accroissement de 3.6% par an. Pour assurer l'autosuffisance alimentaire, le Mali a besoin de combler le déficit de production en important des denrées agricoles. Toujours dans l'optique d'assurer une autosuffisance alimentaire, le Mali doit également améliorer le rendement de la production locale en insérant de nouvelles variétés génétiquement améliorées qui pourraient être cultivés toute l'année en raison de leur résistance aux conditions climatiques. Pour obtenir

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommées au Mali

un meilleur rendement et faire face aux bioagresseurs, la nécessité d'introduire les OGM dans les cultures s'impose. En effet une plante génétiquement modifiée développe une résistance aux pesticides utilisés contre ces nuisibles [4]. Les conditions climatiques rentrent en compte également, les OGM peuvent être cultivés toute l'année [5].

La découverte des molécules porteuses du patrimoine génétique a été une révolution pour les sciences de la vie. Profitant de l'universalité du code génétique, les chercheurs ont réussi à associer des séquences d'ADN provenant de différents organismes en utilisant des techniques de biologie moléculaire. Ces organismes génétiquement modifiés (appelés OGM) ont la capacité de synthétiser des protéines supplémentaires qui leur confèrent de nouvelles propriétés.[4]

La première plante génétiquement modifiée (GM) a été commercialisée en 1994 (tomate) [6] et, depuis lors, l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés (OGM) dans les produits destinés à l'alimentation humaine et animale ne cesse d'augmenter. Cela a influencé la législation et, aujourd'hui, la plupart des pays du Nord réglementent la culture et le commerce des OGM par le biais de systèmes d'autorisation et d'étiquetage obligatoire des produits. Ainsi, un contrôle rigoureux de la présence et des quantités d'OGM dans les chaînes d'approvisionnement des denrées alimentaires et des aliments pour animaux est nécessaire. Pour garantir un tel contrôle, une détection sensible et spécifique et des approches de quantification ont été et sont encore en cours de développement [7]. Un OGM est un organisme dont le génome a été modifié en introduisant un transgène (gène d'intérêt, séquence promotrice, et terminaison etc...) dans le but de lui conférer un caractère qu'il n'avait pas [8]; [9]. La FAO et la Commission européenne définissent un OGM, et ses produits, comme étant des plantes ou des animaux produits par des techniques dans lesquelles le matériel génétique a été modifié d'une manière qui ne se produit pas naturellement par accouplement et/ou recombinaison naturelle. Peut-être qu'une meilleure définition serait une modification de la définition du Protocole de Cartagena pour « organismes vivants modifiés », qui se lirait alors : « organisme génétiquement modifié » désigne tout organisme vivant qui possède une nouvelle combinaison de matériel génétique obtenue grâce à l'utilisation de la biotechnologie moderne [10] .

Le contrôle de l'étiquetage de ces denrées alimentaires est basé sur la détection des séquences d'ADN étrangères produites par les organismes génétiquement modifiés. L'une des méthodes techniques utilisées pour l'application de ce règlement est la méthode de réaction en chaîne par polymérase (PCR)[11].

Un nombre important de cultures transgéniques a été développé par insertion de gènes étrangers dans les génomes végétaux (fruits, légumes, céréales...) [12].

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommées au Mali

L'édition génétique chez les plantes est un domaine de la biotechnologie qui permet de modifier précisément le génome des plantes pour améliorer leurs caractéristiques (résistance aux maladies, tolérance aux stress environnementaux, rendement, qualité nutritionnelle). La réglementation de l'édition génétique varie selon les pays. Certains traitent les plantes éditées génétiquement comme des OGM tandis que d'autres ont des réglementations plus souples si aucun ADN étranger n'est introduit [13].

Le terme Organisme Génétiquement Modifié est amorphe et quelque peu imprécis. Toutes nos cultures et notre bétail sont des OGM dans la mesure où leur génétique a été manipulée et conçue par l'homme au cours des 10 000 dernières années ou plus à la suite des croisements [10]. Cela s'est produit à un point tel que la plupart ressemblent à peine à leurs ancêtres sauvages. La majorité ne pouvait pas rivaliser ou survivre longtemps en dehors d'un cadre agricole.

L'UEMOA dans le souci de respecter l'exécution du protocole de Cartagena a mis en place un laboratoire de Biosécurité dans chacun de ses pays membres pour pouvoir contrôler la circulation des OGM dans son espace. Le présent travail fait partie des activités régaliennes du Laboratoire National de Biosécurité du Mali par le biais du Laboratoire de Biologie Moléculaire Appliquée.

Impacts des OGM sur l'agriculture mondiale :

Cette contamination par les OGM – que l'industrie appelle la présence adventice – peut entraîner bon nombre de conséquences économiques pour les agriculteurs. En effet, **la contamination peut priver les agriculteurs du contrôle sur leurs semences, leurs champs et leurs fermes.** L'organisation des nations unies pour l'agriculture et l'alimentation (FAO) estime que depuis le début du vingtième siècle nous avons perdu environ 75% de la diversité génétique [14].

Loi n 08-042-AN-RM du 1^{er}Decembre 2008 relative à la sécurité en biotechnologie en République du Mali

La présente loi, composée de 77 articles repartis en 14 chapitres, fixe les règles concernant la notification (Chap. III); les décisions: participation du public, la procédure de prise de décision et réexamen des décisions (Chap. IV); la dissémination involontaire et/ou libération accidentelle et des mesures d'urgence (Chap. VI); l'identification et de l'étiquetage (Chap. VII) les renseignements commerciaux confidentiels(Chap. VIII); l'exportation (Chap. IX) responsabilité et de la réparation (Chap. X); des infractions et des sanctions (Chap. XI); des voies de recours contre les décisions de l'autorité nationale compétente (Chap. XII); les dispositions transitoires (Chap. XIII); et les dispositions finales (Chap. XIV) [15]

1.2 Justification de l'étude :

Le Mali est un pays producteur mais également importateur pour assurer la diversité des céréales ainsi que les fruits et légumes sur les marchés. D'où la présence de diverses variétés de céréales, de fruits et légumes provenant d'un peu partout dans le monde. Pour assurer la sécurité alimentaire au Mali, d'importantes quantités de denrées alimentaires sont importées de différents pays où la culture et la commercialisation des OGM sont autorisées. Le Mali ayant signé et ratifié le Protocole de Cartagena, la nécessité d'évaluer la circulation et l'importation des denrées génétiquement modifiées, sa saine consommation dans le pays. C'est ainsi que nous avons entrepris une étude pour la cartographie des denrées génétiquement modifiées dans le district de Bamako au Mali.

Hypothèse de recherche :

"Les denrées agricoles (céréales, fruits et légumes) actuellement commercialisées au Mali contiennent une proportion significative d'OGM non déclarés, nécessitant le développement et l'application de méthodes de détection plus efficaces pour assurer la conformité réglementaire et la sécurité alimentaire."

2 Objectifs :

2.1 Objectif Principal :

Examiner la circulation des OGM à Bamako au Mali.

2.2 Objectifs spécifiques :

- Détecter la présence de certains marqueurs spécifiques d'insertion des transgènes dans les fruits et légumes et certaines céréales dans le district de Bamako.
- Déterminer l'origine des céréales génétiquement modifiés ainsi que les fruits et légumes importés dans le district de Bamako

3 Généralités

3.1 Situation des OGM au Mali

Réglementation en vigueur et le protocole de Cartagena

Le Mali a signé et ratifié la convention sur la Diversité Biologique et le Protocole de Cartagena. Au Mali, il existe une loi depuis décembre 2008 relative à la sécurité en biotechnologie en République du Mali. Cette loi est basée sur l'identification, l'étiquetage et la traçabilité des produits génétiquement modifiés. la loi vise à donner à l'autorité nationale compétente les moyens de s'assurer, conformément à une interprétation exigeante du principe de précaution, que l'OGM qui serait autorisé non seulement ne comporte pas de risques pour la santé, la diversité biologique et l'environnement mais bénéficie positivement au pays, contribue au développement durable, respecte les valeurs éthiques et tient compte des préoccupations des communautés [16].

Le Mali, comme de nombreux pays africains, fait face à des défis agricoles significatifs tels que les changements climatiques, les maladies des plantes et les ravageurs. L'utilisation des organismes génétiquement modifiés (OGM) pourrait offrir des solutions à certains de ces défis, mais elle soulève également des préoccupations quant à la biosécurité, l'impact environnemental et les implications socio-économiques. La détection des OGM dans les matières premières est essentielle pour assurer la traçabilité, le respect des réglementations et la sécurité alimentaire.

Le protocole de Cartagena

Le Protocole de Cartagena sur la prévention des risques biotechnologiques a été signé le 29 janvier 2000, après de longues négociations, dans le cadre de la Convention sur la Diversité Biologique adoptée à Rio en 1992. Il a été assorti en 2010 d'un protocole additionnel, entré en vigueur en mars 2018 : le protocole de Nagoya Kuala Lumpur sur la responsabilité et la réparation. Ce protocole a pour objectif la prévention des risques biotechnologiques. Il constitue le premier accord international environnemental sur les OGM [17].

Le programme régional de biosécurité de l'UEMOA

L'objectif environnemental du Programme Régional de Biosécurité de l'UEMOA est de protéger la biodiversité régionale contre les risques potentiels associés à l'introduction des Organismes Vivants Modifiés en Afrique de l'Ouest. Plus concrètement, il s'agit de la mise en œuvre d'un cadre juridique régional de biosécurité devant permettre aux Etats membres de

l'UEMOA de faire face à leurs obligations vis-à-vis du Protocole de Cartagena sur la prévention des risques liés aux Organismes Vivants Modifiés [18].

Précédentes études sur les OGM dans le pays :

Une seule étude sur la détection des OGM a été réalisée avec les variétés de maïs circulant au Mali en 2019 au Laboratoire de Biologie Moléculaire Appliquée (LBMA). Les résultats de cette étude ont relevé l'absence de transgène dans les échantillons de Maïs conservé au niveau de l'Institut d'Economie Rurale (IER). Cependant une variété de maïs d'origine inconnu était OGM [19].

3.2 Les biotechnologies agricoles ou végétales

Le terme « biotechnologie » fait référence à une large gamme de techniques dont la caractéristique essentielle est d'utiliser les propriétés des organismes vivants. Certaines biotechnologies telles que la fermentation sont utilisées depuis des millénaires pour la production du vin, du pain ou de la bière. Ces processus traditionnels utilisent en effet des organismes vivants pour effectuer diverses transformations chimiques (p.ex. la transformation du sucre en alcool) [20].

Toutefois, lorsque l'on parle de biotechnologie aujourd'hui, on fait principalement référence à des techniques modernes utilisées en médecine, pharmacie, dans l'agro-alimentaire ou en agriculture. Dans ce dernier cas, le génie génétique et la culture de tissus sont les techniques les plus importantes.

Les techniques de génie-génétique rendent possible l'identification d'une séquence particulière d'ADN qui correspond à un gène d'intérêt ; elles permettent également de prélever ce gène et de le transférer dans un autre organisme, par exemple une cellule végétale. Les techniques de génie génétique permettent donc de modifier le patrimoine génétique d'un organisme vivant.

Bien que l'on en parle moins que le génie génétique, la culture de tissus est également une technique « biotechnologique » essentielle pour le développement des plantes transgéniques. En effet, c'est à travers la culture de tissus qu'il est possible de cultiver des cellules hors de leurs organismes d'origine et de régénérer une plante complète à partir d'une seule cellule. Le processus de régénération a longtemps constitué un facteur limitant pour le développement de plante transgénique.

Ainsi, le génie génétique et la culture de tissus sont tous deux nécessaires pour développer une plante transgénique ; le génie génétique pour introduire un transgène (gène provenant d'une

autre espèce) dans une cellule de plante et de la culture de tissus pour régénérer une plante complète à partir de cette cellule transformée[20].

3.3 Cellules, chromosomes, ADN et protéines

Il existe des organismes unicellulaires composés d'une seule cellule (bactéries, protozoaires, etc.) et des organismes pluricellulaires composés d'une multitude de cellules (êtres humains, plantes)

La plupart des cellules possèdent un noyau dans lequel se trouvent les chromosomes. Les bactéries en revanche ne possèdent pas de noyau et leurs chromosomes se trouvent directement dans le cytoplasme.

Un chromosome est une très longue molécule d'ADN (acide désoxyribonucléique) dont la forme plus ou moins compacte selon les régions est rendue possible par l'assemblage de diverses protéines. Il est composé d'éléments chimiques et physiques identiques chez tous les organismes vivants. Cette universalité de la structure de l'ADN permet donc de transférer une séquence d'ADN d'un organisme à un autre et de produire ainsi un organisme transgénique (ou un organisme génétiquement modifié- OGM).

L'ADN est composé de quatre bases (A= Adénine, C=Cytosine, G=Guanine, T=Thymine). Les bases sont arrangées selon une séquence particulière (p. ex. ATTCCGGA) et c'est précisément cette succession de bases selon un ordre précis qui fournit les instructions nécessaires à la création d'un organisme vivant. L'ADN utilise les bases : squelette phosphate, sucre désoxyribose, guanine, l'adénine, cytosine, thymine. L'ARN utilise le sucre ribose, l'adénine, la guanine, la cytosine, le squelette phosphate et l'uracile base.

Un gène est une séquence d'ADN particulière qui code pour une protéine donnée. Lors de la production d'une protéine, le gène est d'abord transcrit en ARNm (acide ribonucléique messager), une molécule « intermédiaire » à partir de laquelle la traduction en protéines est ensuite effectuée[20].

3.4 Techniques utilisées pour la création des OGM

Les cultures biotechnologiques sont adoptées le plus rapidement dans l'histoire de l'agriculture moderne. La commercialisation des OGM est dans de nombreux pays strictement réglementée, imposant la nécessité de traçabilité et d'étiquetage. Pour se conformer à ces législations, des méthodes de détection sont nécessaires. À ce jour, les événements génétiquement modifiés ont été développés par l'introduction d'un insert transgénique (c'est-à-dire un promoteur, une séquence codante, un terminateur) dans le génome de la plante et la PCR en temps réel est la

méthode de détection de choix. Nous avons utilisé la PCR classique parce qu'elle est fiable, économique et surtout parce qu'elle nous permet de séquencer l'évènement. Cependant, de nouveaux types d'éléments génétiques seront utilisés pour construire de nouveaux OGM et de nouvelles cultures seront transformées [21]

Transférer des gènes dans une plante cultivée pour générer un OGM (une plante transgénique) nécessite généralement un processus en deux étapes : Insertion réussie du gène dans une ou plusieurs cellules végétales, appelée transformation, et la régénération d'une plante transgénique, principalement en culture tissulaire, à partir de là ou des cellules transformées. Le gène transféré, appelé transgène, est généralement conçu pour contrôler quand et dans quel tissu il est exprimé afin que le bénéfice maximal puisse être réalisé. L'insertion de gènes dans des cellules végétales est généralement réalisée de l'une des deux manières suivantes : soit par transfert direct d'ADN « nu » soit indirectement à l'aide d'un véhicule bactérien.

La technique de loin la plus courante et la plus largement utilisée pour le transfert direct d'ADN est le bombardement de particules. Le bombardement de microparticules, également connu sous le nom de biolistique ou « pistolet à gènes », a été développé pour la première fois par Sanford à la fin des années 1980 en utilisant de l'hélium sous pression pour tirer des microparticules d'or ou de tungstène (diamètre entre 0,5 et 1,0 m) recouvertes du gène d'intérêt modifié sous forme nue. ADN dans le tissu végétal à des vitesses élevées.

La pression utilisée pour projeter les microparticules variait en fonction des tissus cibles mais pouvait atteindre 2 200 psi : plus la vitesse des particules était élevée, plus la pénétration dans le tissu cible était profonde. Les principaux tissus ciblés étaient des tissus embryonnaires de la graine ou des méristèmes. Le gène modifié a été livré sous la forme d'un plasmide à nombre de copies élevé (un cercle d'ADN capable de se répliquer dans un hôte bactérien pendant le processus d'ingénierie) et une fois dans la cellule, il était capable de s'intégrer dans le génome de la plante, souvent en plusieurs copies. Bien que l'équipement soit devenu plus sophistiqué et que les micros projectiles aient changé avec le temps, le bombardement de microparticules fonctionne toujours sur les mêmes principes que le « canon à gènes » original de Sanford. Le bombardement de microparticules a été utilisé avec succès pour produire des plantes transgéniques dans un large éventail de cultures, y compris toutes les céréales, certaines cultures de tubercules et des arbres. Elle présente l'avantage par rapport à d'autres méthodes en ce qu'elle peut être utilisée pour transférer de gros fragments d'ADN et a même été utilisée pour transférer simultanément des chromosomes entiers et plusieurs gènes modifiés indépendamment.[10]

Les éléments promoteurs et terminateurs utilisés dans le premier OGM étaient principalement le promoteur 35 S du virus de la mosaïque du chou-fleur (CaMV) (p35S ; [39]) et le terminateur

de nopaline synthase d'*Agrobacterium tumefaciens* (Tnos ; [40]). Les traits étaient également limités aux gènes conférant une tolérance aux herbicides (HT) et une résistance aux insectes (IR) et ont été introduits dans quelques cultures de base telles que le maïs, le soja et le colza. Les principales séquences HT sont les phosphinotricine-N-acétyltransférases bactériennes de *Streptomyces viridochromogenes* (pat) et de *Streptomyces hygroscopicus* (bar) [41] et la 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (epsps) de la souche CP4 d'*Agrobacterium tumefaciens* ou de plante origine (in casu petunia) [42, 43]. Pour le trait IR, des versions artificielles des gènes codant pour l'endotoxine de *Bacillus thuringiensis* (Bt) (par exemple, le cryIAb/Ac) ont été utilisées. À l'heure actuelle, cette première génération de caractères et d'éléments réglementaires reste prédominante dans les cultures commerciales et leurs produits dérivés pour l'alimentation humaine et animale. En effet, en 2011, la principale culture GM était encore le soja avec 47 % de la superficie mondiale des cultures biotechnologiques suivi du maïs (32 %), du coton (15 %) et du colza (5 %). Tout au long des 16 années de commercialisation des cultures biotechnologiques, la tolérance aux herbicides a été le trait dominant (59 %). Les cultures résistantes aux insectes représentent 15 % de la superficie totale des cultures transgéniques plantées [1]. Ces dernières années, de nouvelles séquences régulatrices ont été introduites [44, 45] telles que le terminateur 35 S du virus de la mosaïque du chou-fleur (T35S), le promoteur du virus de la mosaïque figworth (PFMV ; [46]), le promoteur de la nopaline synthase d'*Agrobacterium tumefaciens* (TNOS), le promoteur d'actine de riz (pAct ; [47]) et le promoteur d'ubiquitine de maïs (PUbiZM ; [48]). De plus, de nouveaux gènes de la famille des -endotoxines Bt sont également utilisés aujourd'hui (cry3Bb, cry3A, cry1F, ...). De plus, davantage d'espèces comme le riz, le coton, la betterave à sucre et la pomme de terre sont actuellement utilisées pour la transformation.[22]

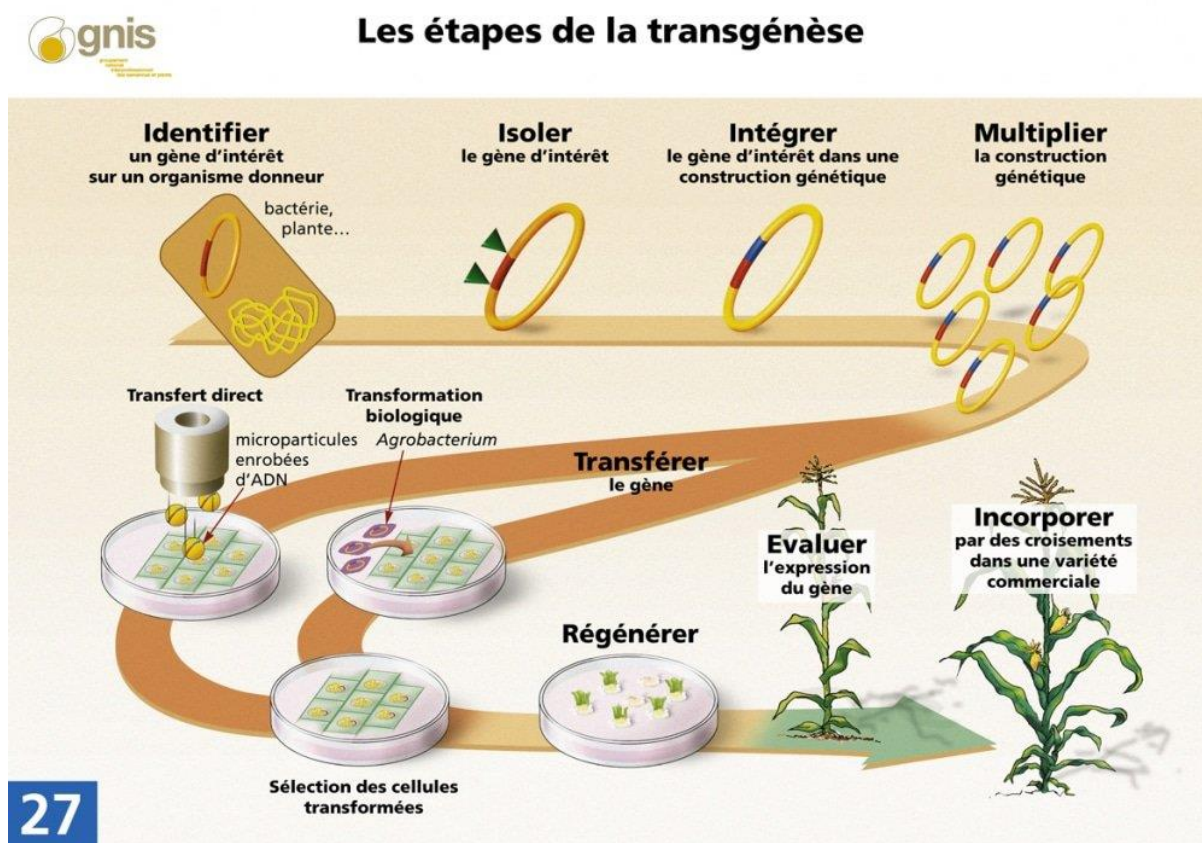


Figure 1: Illustration de la technique de transgénèse [23].

3.5 Techniques de détection moléculaire des OGM

Le développement de méthodes de détection est très important pour la sécurité et la surveillance des cultures génétiquement modifiées. Il existe plusieurs méthodes de détection des organismes génétiquement modifiés [24]

Les méthodes de détection classiques sont la réaction en chaîne par polymérase (PCR) basée sur l'ADN [25] et les tests immuno-enzymatiques basés sur les protéines (ELISA) [26]. Il existe encore d'autres méthodes beaucoup plus récentes que ces techniques précédemment citées : LAMP PCR [26] ; CRISPR [27] ; HPLC et Technologies de séquençage de nouvelle génération (NGS) [28].

Bien que la technologie PCR ait des limites évidentes, le degré potentiellement élevé de sensibilité et de spécificité explique pourquoi elle a été le premier choix de la plupart des laboratoires d'analyse intéressés par la détection d'organismes génétiquement modifiés (GM) (OGM) et de matériaux dérivés. Étant donné que les produits que les laboratoires reçoivent pour analyse sont souvent traités et raffinés, la qualité et la quantité de l'analyte cible (par exemple, protéine ou ADN) remettent fréquemment en question la sensibilité de toute méthode de

détection. Parmi les méthodes actuellement disponibles, les méthodes PCR sont généralement acceptées comme les méthodes les plus sensibles et les plus fiables pour la détection de matériel dérivé d'OGM dans les applications de routine. Le choix du motif de la séquence cible est le facteur le plus important contrôlant la spécificité de la méthode PCR. La séquence cible fait normalement partie de la construction génétique modifiée, par exemple un promoteur, un terminateur, un gène ou une jonction entre deux de ces éléments [29].

Cependant, les éléments peuvent provenir d'organismes de type sauvage, ils peuvent être présents dans plus d'un OGM et leur nombre de copies peut également varier d'un OGM à l'autre. Ils peuvent même être combinés de manière similaire dans plus d'un OGM. Ainsi, le choix de la méthode doit correspondre à l'objectif. Les développements récents incluent des méthodes spécifiques aux événements, particulièrement utiles pour l'identification et la quantification du contenu GM.[29]. [30].

La présence d'organismes génétiquement modifiés (OGM) est couramment évaluée à l'aide de méthodes de PCR en temps réel ciblant les éléments transgéniques les plus courants trouvés dans les OGM. Une fois la présence de matériel GM établie à l'aide de ces méthodes de dépistage, les OGM sont ensuite identifiés à l'aide d'une batterie de méthodes de PCR en temps réel, chacune étant spécifique d'un événement GM et ciblant généralement la jonction du génome de la plante et de l'insert d'ADN transgénique [31].

3.6 Avantage des OGM :

L'introduction d'un gène étranger dans une plante lui confère la capacité de synthétiser une protéine étrangère. Partant de l'idée que toute information génétique provenant de n'importe quelle source peut être exprimée dans n'importe quel organisme ; L'ingénierie génétique permet ainsi à :

- Amélioration de la protection des cultures agricoles,
- Raccourcir le délai pour obtenir une nouvelle variété,
- Améliorer le rendement et la qualité des cultures,
- Produire des molécules à haute valeur ajoutée (comme les produits pharmaceutiques, vitamines ou biopolymères pour l'industrie), et
- Améliorer la qualité nutritionnelle des plantes [11].
- Les OGM pourraient produire des tissus (par des animaux génétiquement modifiés) greffables chez l'homme [5].

3.7 Inconvénients des OGM :

Les dangers des OGM sur la santé publique et environnementale font encore débats dans le monde scientifique et politique. Ces organismes pourraient induire des effets toxiques suivants. [27]

- Dérive génétique,
- Allergies,
- Résistance aux antibiotiques et
- Appauvrissement de la biodiversité
- Dépendance des agriculteurs : les firmes programment l'ADN des plantes afin qu'elles tuent leurs propres embryons. Les semences sont stériles. Les agriculteurs sont obligés de racheter de nouvelles semences tous les ans [5] .

3.8 Impacts sur la santé humaine

Les études indépendantes démontrant l'innocuité des cultures OGM sur la santé humaine ou animale sont cruellement absentes de la littérature scientifique.

En revanche ce qui ne fait pas de doute, c'est que les cultures OGM peuvent potentiellement provoquer bien plus de réactions allergiques que les cultures issues de croisements conventionnels. Ainsi, lors d'une expérimentation à long terme menée en Australie, il a été constaté que des petits pois OGM causaient des réactions allergiques chez les souris. Cela les rendait également plus sensibles à d'autres allergies alimentaires [32].

3.9 Généralités sur les OGM en Afrique

En Afrique, les législations sur les Plantes Génétiquement Modifiées (PGM) sont en construction, ce qui n'empêche pas les PGM d'y entrer massivement : si l'Afrique du Sud est le seul pays du continent où les PGM sont cultivées commercialement, d'autres pays ont commencé des essais en champ et la majorité d'entre eux importent des PGM.[33]

Si actuellement seule l'Afrique du Sud cultive commercialement des PGM, la plupart des pays africains en expérimentent, en serre ou en champ : au Burkina Faso (coton Bt), en Egypte (melon, pomme de terre, courge et tomate), au Kenya (patate douce, maïs, coton) , au Maroc (tomate), en Ouganda (banane, coton et maïs), en Tanzanie (Tabac), en Zambie ,et au Zimbabwe (coton, maïs). Cette liste n'est pas exhaustive car peu d'information est disponible sur la réalité des essais en cours et même les gouvernements possèdent peu de moyens techniques et humains pour détecter et contrôler la présence de PGM.[34].

4 Méthodologie

4.1 Types et période d'étude

Il s'agissait d'une étude prospective pour la période de Mars 2021 à Aout 2023 dans les communes II, IV, V du district de Bamako.

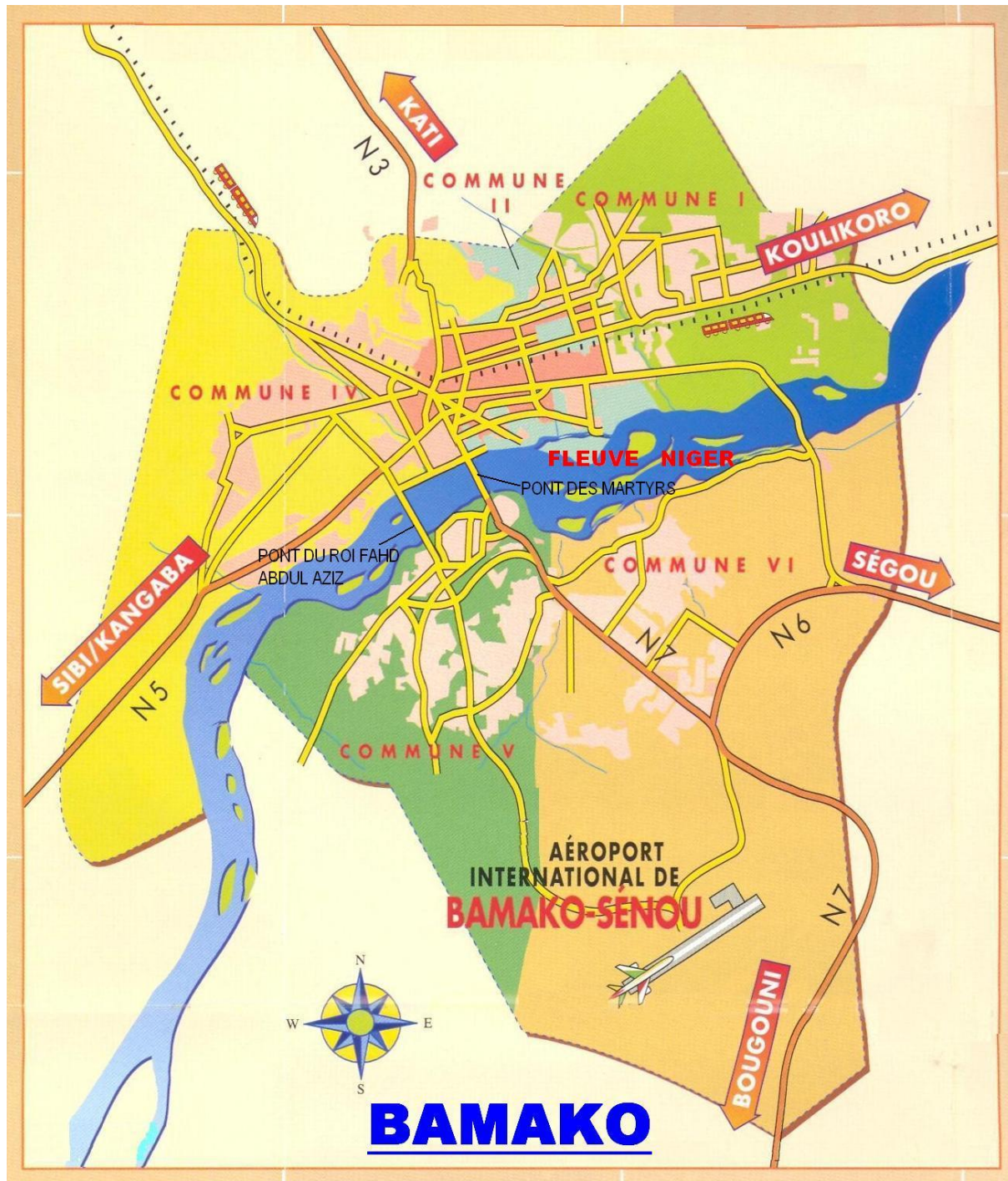


Figure 2 : Carte du District de Bamako [35].

4.2 Matériels

La collecte d'échantillon a porté sur les denrées agricoles (Fruits, légumes et céréales) vendues dans les magasins, supermarchés et étalages dans les communes II, IV, V du district de Bamako

4.2.1 Critères d'inclusion

Les critères de sélection étaient basés sur un certain nombre de points :

- Les fruits et légumes importés,
- Les fruits et légumes provenant des communes II, IV, V du district de Bamako,
- Les céréales importées provenant des communes II, IV, V du district de Bamako.

4.3 Critères de non inclusion

N'ont pas été inclus dans notre étude :

- Les fruits et légumes de production locale,
- Les fruits et légumes importés mais qui ne se trouvent pas dans les communes II, IV, V du district de Bamako
- Les céréales de production locale.

4.4 Description du questionnaire

Nous avons un questionnaire qui fournit des informations sur l'origine des échantillons testés et des informations sur le vendeur (voir annexe).

4.5 Echantillonnage

Les échantillons étaient collectés dans les principaux points d'approvisionnement (dans les supermarchés et chez les vendeurs à l'étalage) du district de Bamako. Les échantillons prélevés sur le terrain étaient conservés dans des sachets individuels en double emballage avec des étiquettes puis gardés à -20°C avant les analyses au laboratoire. Un questionnaire était utilisé pour renseigner sur l'origine et la provenance l'échantillon prélevé.

Durant notre période d'étude nous avons pu collecter de façon aléatoire dans les trois communes du district de Bamako des échantillons de céréales, fruits et légumes présents lors des passages de notre équipe.

4.6 Détection moléculaire de la présence de marqueurs spécifiques aux OGM

4.6.1 Décongélation des échantillons

Nous n'avons pas suivi de courbe de décongélation, les échantillons ont été directement sortis de -20C et déposés à la température ambiante.

4.6.2 Séchage au laboratoire des échantillons collectés

Une partie des échantillons a été découpée avec une lame stérile de façon à avoir des couches fines. Ces parties fines ont ensuite été déposées sur des papiers aluminium et incubées à 44°C pendant 24 à 48 heures dans une étuve Binder.

Après séchage, les échantillons ont été broyés dans des mortiers stérilisés en porcelaine et conservés dans des tubes eppendorf 1,5 ml à température ambiante avant l'étape de l'extraction d'ADN.



Figure 3 : Incubateur (Etuve Binder)



Figure 4: Mortier et pilon en porcelaine

4.6.3 Extractions d'ADN des échantillons collectés

Les échantillons ont été broyés dans des mortiers en porcelaine. Vingt milligrammes du broyat seront prélevés pour extraction d'ADN avec la méthode CTAB 10%. Le CTAB est un tensioactif cationique ajouté dans le tampon d'extraction d'ADN [36].

20 mg du broyat de chaque échantillon a été pesé. 600 μ L de **CTAB 10%** a été utilisé pour la lyse membranaire et suivie d'une incubation à 65°C pendant 20 mn. Nous avons utilisé 600 μ L de **chloroforme** pour la séparation et puis nous avons centrifugé à 12000 rpm pendant 5 mn. L'ADN a été précipité avec 600 μ L de **l'éthanol absolue (ou isopropanol)** puis centrifuger pendant 20 mn à 12000 rpm. Pour la purification nous avons utilisé 600 μ L de **l'éthanol à 70°C** puis suivie d'une centrifugation à 12000 rpm pendant 5 mn. Cette étape a été répétée avant de sécher au speed-vac pendant 5mn. L'ADN était élué avec 100 μ L de **l'eau ultra pure**. [36]

4.6.4 Vérification qualitative et quantitative de l'ADN :

La spectrophotométrie était utilisée pour vérifier la qualité et la quantité de nos extraits d'ADN. Les longueurs d'ondes étaient à 260 nm et 280 nm pour les protéines afin de déterminer la pureté en faisant le ration 260/280. [36]

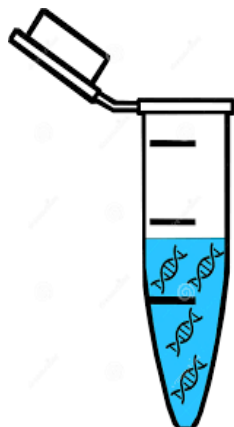


Figure 5: Tube Eppendorf de 1.5 contenant l'ADN



Figure 6: Spectrophotomètre Eppendorf

4.3.4 PCR qualitative :

Une nouvelle approche la PCR, pour la détection des OGM est présentée ici. Cette méthode est basée sur la présence de plusieurs éléments communs (promoteur et terminateur) dans différents OGM.

La technique de la PCR est l'une des méthodes les plus fiables pour la détection des OGM. Elle est basée sur la mise en évidence d'une séquence d'ADN transgénique (événement) [37]. Nous avons utilisé 4 paires d'amorces différentes (**PLANT, P35S, TNOS, PFMV**) pour cette étude. Les tests de présence de séquences de P35S et TNOS ont été couramment utilisés comme outil de dépistage pour la détection des OGM. La plupart des produits GM commercialisés contient l'un ou l'autre ou les deux. La détection de l'un ou l'autre élément nécessite des tests supplémentaires pour l'identification de traits ou d'événements spécifiques [38] . La procédure comprend : (1) l'extraction de l'ADN génomique, (2) l'amplification des gènes spécifiques de la plante (chlorophylle) afin de déterminer que les échantillons sont bien issus de la plante, (3) l'amplification des marqueurs d'OGM : promoteurs 35S, FMV et terminateur NOS insérés au moyen de la méthode de PCR, (4) la caractérisation et la confirmation des produits de PCR par l'électrophorèse sur gel d'agarose.[39]



Figure 7: Thermocycler Eppendorf

4.7 Amplification des marqueurs de dépistages pour l'identification des OGM

Tableau I: séquences des gènes recherchés et leurs tailles attendues

Marqueur	Séquence	Taille attendue (Pb)
Amorce PLANT Aller Retour	3' CGAAATCGGTAGACGCTACG 5' 5' GGGGATAGAGGGACTTGAAC 3'	571
Amorce P35 Aller Retour	3' CCACGTCTTCAAAGCAAGTGG 5' 5' TCCTCTCAAATGAAATGAACTTCC 3'	123
Amorce TNOS Aller Retour	3' GCATGACGTTATTTATGAGATGGG 5' 5' GACACCGCGCGGATAATTTATCC 3'	118
Amorce PFMV Aller Retour	3' AAGCCTCAACAAGGTCAG 5' 5' CTGCTCGATGTTGACAAG 3'	196

Marqueur universel des plantes (PLANT) :

Cette paire d'amorce est commune à tous les végétaux. Elle cible des régions de l'ARN chloroplastique, permet de déterminer l'origine de l'ADN et d'éventuels inhibiteurs. La PCR s'est déroulée dans les conditions suivantes[40] [41] :

Tableau II: Composition du mélange réactionnel (volume en μL)

Réactifs	Concentration	Volume (μL)
Master Mix (One Taq Biolabs)	2X	12,5
Amorce Sens (aller)	10 μM	1
Amorce Anti-sens (retour)	10 μM	1
ADN	100-200 ng	5
H ₂ O	-	5,5
Total	-	25

Au total 25 μL de mélange réactionnel a été soumis à la PCR avec un mélange initial contenant des nucléotides, du Mg^{++} , et le tampon de la PCR. Ensuite l'amorce spécifique pour l'amplification du gène PLANT a été ajoutée en présence de l'ADN d'intérêt des fruits, légumes, et céréales. Des contrôles négatifs (Echantillon de maïs de l'IER) et positifs (Echantillon de maïs OGM pionner) ont été inclus dans chaque test PCR.

Amplification par PCR de la présence de l'ADN chloroplastique avec l'amorce PLANT

Tableau III: Paramètres d'amplification de la PCR avec l'amorce PLANT

Etape	Température (°C)	Temps (seconde)	Nombre de cycle
Dénaturation initiale	94	240	1
Dénaturation secondaire	95	30	35
Hybridation	55	30	35
Elongation	72	120	35
Elongation Finale	72	300	1
Conservation	4	-	-

La machine PCR de type eppendorf a été programmée suivant les paramètres au niveau de ce tableau

L'électrophorèse a été réalisée sur un gel d'agarose de 2% et migrer pendant 1h30 mn à 120V. La taille des bandes attendues était de **571pb**. 20mg d'agarose (LE Agarose CSL-AG500) étaient ajoutés dans 100ml de tampon de migration constituée TBE (5%) avec du bromure d'ethidium à la concentration de 3%. La migration a été effectuée par un générateur de courant de type Power bac de Biorad avec un voltage de 120V et pendant 1h30mn. Le marqueur moléculaire 100pb (Biolabs) a été ajouté au même moment dans les puits avec les amplifiats. Le gel a été photographié sous la lumière UV avec l'appareil de marque UVP^R DigiDoc-ItTM

Amplification du marqueur P35 pour le dépistage des OGM par PCR

Marqueur pour le promoteur P35S :

Le promoteur du virus de la mosaïque du chou-fleur (CaMV) 35S (P35S) est une cible couramment utilisée pour la détection de organismes génétiquement modifiés (OGM) [42]. Elle est l'une des marqueurs les plus utilisées dans la construction des OGM, 59% des cultures GM commercialisées pourraient être détectées en ciblant simplement cette séquence [43]

Mélange réactionnel pour un volume final de 25 μ L.

Tableau IV: Composition du mélange réactionnel (volume pour une réaction en μ L)

Réactifs	Concentration	Volume (μ L)
Master Mix (One Taq Biolabs)	2X	12,5
Amorce Sens	10 μ M	0,75
Amorce Anti-sens	10 μ M	0,75
ADN	100-200 ng	5
H2O	-	6
Total	-	25

Au total 25 μ L de mélange réactionnel a été soumis à la PCR avec un mélange initial contenant des nucléotides, du Mg^{++} , et le tampon de PCR. Ensuite l'amorce spécifique pour l'amplification du gène du promoteur 35S a été ajoutée en présence de l'ADN d'intérêt des fruits, légumes, et céréales. Des contrôles négatifs (Echantillon de maïs de l'IER) et positifs (Echantillon de maïs OGM pionner) ont été inclus dans chaque test PCR.

La PCR s'est déroulée dans les conditions suivantes :

Une première étape de Dénaturation à 94°C pendant 10 minutes suivie d'une Dénaturation secondaire à 95°C pendant 25 secondes. L'hybridation des amorces s'est déroulée à 55°C pendant 30 secondes. L'élongation par la Taq polymérase est à 72°C pendant 45 secondes pour un nombre total de 50 cycles. Elongation finale s'est réalisée pendant 8 minutes à 72°C.

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

Tableau V : Paramètres d'amplification de la PCR avec l'amorce P35S

Etapes	Température (°C)	Temps (seconde)	Nombre de cycle
Dénaturation initiale	94	600	1
Dénaturation secondaire	95	25	40
Hybridation	55	30	40
Elongation	72	45	40
Elongation Finale	72	480	1
Conservation	4	-	-

L'électrophorèse a été réalisée sur un gel d'agarose de 2% et migrer pendant 1h30 mn à 120v.

La taille des bandes attendues était de 128 pb.

Amplification du marqueur TNOS pour le dépistage des OGM

Marqueur pour le terminateur TNOS :

Marqueur de terminaison le plus utilisé pour la construction des OGM. La PCR s'est déroulée dans les conditions suivantes :

Mélange réactionnel pour un volume final de 25 μ L.

Tableau VI: Composition du mélange réactionnel (volume pour une réaction en μ L)

Réactifs	Concentration	Volume (μ L)
Master Mix (One Taq Biolabs)	2X	12,5
Amorce Sens	10 μ M	0,75
Amorce Anti-sens	10 μ M	0,75
ADN	100-200 ng	5
H2O	-	6
Total	-	25

Au total 25 μ L de mélange réactionnel a été soumis à la PCR avec un mélange initial contenant des nucléotides, du Mg^{++} , et le tampon de PCR. Ensuite l'amorce spécifique pour l'amplification du terminateur NOS a été ajouté en présence de l'ADN d'intérêt soit des fruits, des légumes, et les céréales. Des contrôles négatifs (Echantillon de maïs de l'IER) et positifs (Echantillon de maïs OGM pionner) ont été inclus dans chaque test PCR.

Tableau VII: Paramètres d'amplification de la PCR avec l'amorce TNOS

Etape	Température (°C)	Temps (seconde)	Nombre de cycle
Dénaturation initiale	94	600	1
Dénaturation secondaire	95	25	40
Hybridation	55	30	40
Elongation	72	45	40
Elongation Finale	72	480	1
Conservation	4	-	-

L'électrophorèse a été réalisée sur un gel d'agarose de 2% et migrer pendant 1h30 mn à 120.

La taille des bandes attendues était de 118pb.

Amplification du marqueur PFMV pour le dépistage des OGM

Marqueur pour l'amorce PFMV : Originaire du virus de la mosaïque figworth, c'est un marqueur utilisé pour la détection des modifications génétiques au niveau du promoteur des gènes cibles. La PCR s'est réalisée dans les conditions suivantes :

Tableau VIII : Composition du mélange réactionnel (volume en μL) pour la PCR P-FMV

Réactifs	Concentration	Volume (μL)
Master Mix (One Taq Biolabs)	2X	12,5
Amorce Sens	10 μM	0,25
Amorce Anti-sens	10 μM	0,25
ADN	100-200 ng	5
H2O	-	7
Total	-	25

Au total 25 μL de mélange réactionnel a été soumis à la PCR avec un mélange initial contenant des nucléotides, du Mg^{++} , et le tampon de PCR. Ensuite l'amorce spécifique pour l'amplification du promoteur FMV a été ajouté en présence de l'ADN d'intérêt des fruits, légumes, et céréales. Des contrôles négatifs (Echantillon de maïs de l'IER) et positifs (Echantillon de maïs OGM pionner) ont été inclus dans chaque test PCR.

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

Tableau IX: Paramètres d'amplification de la PCR avec l'amorce P-FMV

Etape	Température (°C)	Temps (seconde)	Nombre de cycle
Dénaturation initiale	94	600	1
Dénaturation secondaire	95	25	40
Hybridation	55	30	40
Elongation	72	45	40
Elongation Finale	72	480	1
Conservation	4	-	-

L'électrophorèse a été réalisée sur un gel d'agarose de 2% et migrer pendant 1h30 mn à 120v.

La taille des bandes attendues était de 196 pb.

5 Résultats

5.1 Les résultats des enquêtes :

Au total 72 denrées alimentaires ont été échantillonnées dans les communes II, IV, V de Bamako. Le plus grand nombre d'échantillon a été collecté en commune V suivie de la commune II et de la commune IV avec respectivement 41, 27 et 4 échantillons.

Tableau X: Résultats des questionnaires d'enquête au moment de l'échantillonnage

Communes	Nombre d'échantillons	Distribution de l'échantillon	
		Étalage	Super marche
V	41	31	10
IV	4	4	0
II	27	22	5
Total	72	57	15

La majorité des échantillons (79%) était vendu à l'étalage au marché ou au bord de la route.

5.2 Détection moléculaire de la présence de marqueurs spécifiques aux OGM :

5.2.1 Résultats de la PCR pour la présence du gène Plant :

Après extraction de l'ADN génomique, la présence du matériel génétique (qualité de l'extraction) était attestée par la présence du gène Plant.

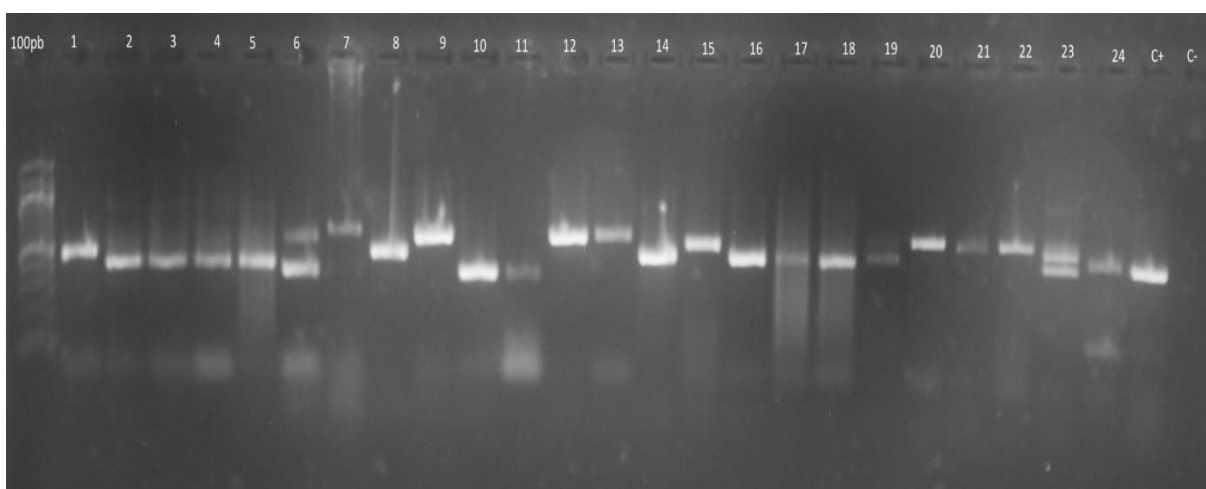


Figure 8: Image du gel électrophorèse de la PCR avec l'amorce PLANT.

Les lignes 1 à 24 représentent les échantillons. La colonne 1 représente le marqueur moléculaire de taille (100 paires de bases moléculaires). Les colonnes C+ et C- représentent les contrôles positifs et négatifs

Les 24 premiers échantillons ont tous présentés des bandes avec un polymorphisme.

La taille des amplicons de Plant variaient selon les familles de fruits, légumes et céréales.

Tableau XI: Résultat d'amplification du gène PLANT

	Echantillons testés	Echantillon positif PLANT
Fruits	38	36
Légume	24	24
Céréales	10	10
Total	72	70

A l'exception de deux (2/72) tous les échantillons ont été amplifiés par l'amorce Plant du chloroplaste (Chloroplaste).

5.2.2 Résultat de la PCR pour la présence du gène P35S :

Les échantillons ayant été amplifiés à 123 Pb confirment la présence du gène P35S. Cela signifie que ces échantillons portent une modification au niveau du promoteur P35S.

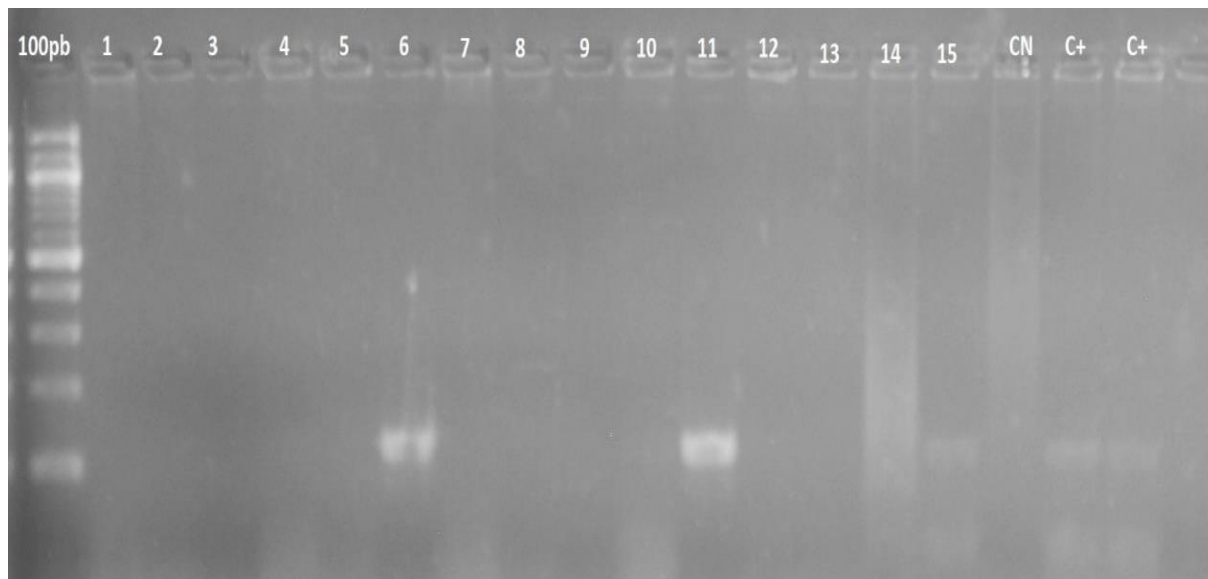


Figure 9: Image du gel d'électrophorèse après PCR par l'amorce P35S.

Les lignes 1 à 15 représentent les échantillons. La colonne 1 représente le marqueur moléculaire de taille (100 paires de bases moléculaires). Les colonnes C+ et CN représentent les contrôles positifs et négatifs.

Sur 72 échantillons amplifiés, 9 étaient positifs au gène P35S.

5.2.3 Résultat de la PCR pour la présence du gène TNOS :

Les échantillons ayant été amplifiés à 118 Pb confirme la présence du gène TNOS. Cela signifie que ces échantillons portent une modification au niveau du terminateur TNOS.



Figure 10: Image du gel d'électrophorèse de la PCR avec l'amorce TNOS.

Les puits 1 à 11 représentent les échantillons à tester. Le puit 1 contient le marqueur moléculaire de taille (100 paires de bases moléculaires). Les puits C+ et C- représentent les contrôles positif et négatif. Sur les onze échantillons présents, un seul était positif au gène TNOS. L'échantillon numéro 2 (petite tomate) a été amplifié avec le marqueur TNOS.

5.2.4 Résultat de la PCR pour la présence du gène PFMV :

Les échantillons ayant été amplifiés à 196 pb confirment la présence du gène P-FMV. Cela signifie que ces échantillons portent une modification au niveau du promoteur FMV.

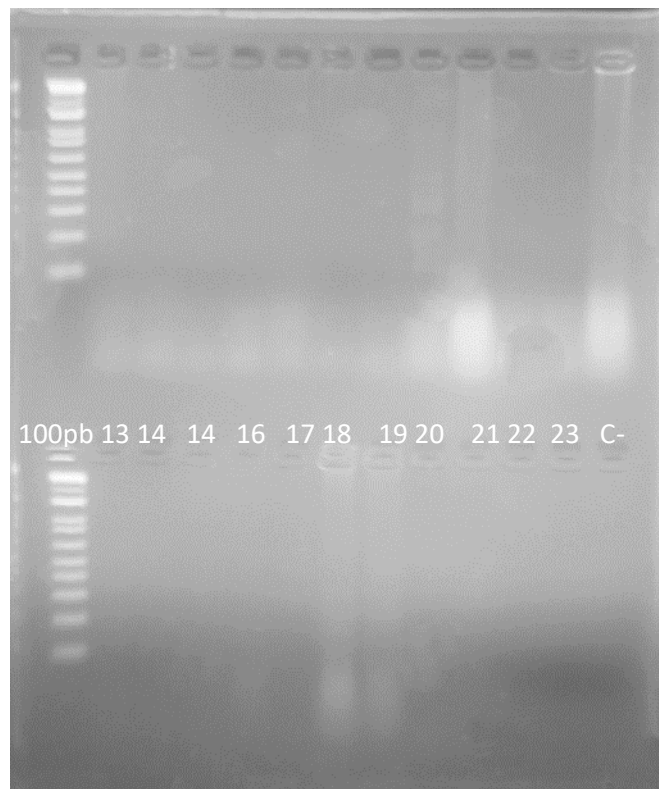


Figure 11: Image du gel d'électrophorèse de la PCR avec l'amorce P-FMV.

Les puits 1 à 23 représentent les échantillons à tester. Le puit 1 représente le marqueur moléculaire de taille (100 paires de bases moléculaires). Les puits C+ et C- représentent les contrôles positif et négatif.

Sur 23 échantillons présents, aucun n'était positif au gène P-FMV.

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

Tableau XII: Analyse des échantillons de fruits, légumes et céréales testés pour la présence de marqueurs spécifiques aux OGM.

Types	# Total testé	PCR PLANT		PCR P35		PCR TNOS		PCR P- FMV	
		N	%	N	%	N	%	N	%
Fruits	38	36	94,73	5	13,15	1	2,63	0	0
Légumes	24	24	100	3	12,5	0	0	0	0
Céréales	10	10	100	1	9,09	0	0	0	0
Total	72	70	98,24	9	12,5	1	1,38	0	0

Sur les 72 échantillons testés, 70 ont présenté un ADN spécifique à la plante soit 94.73%(70/72). Pour le marqueur P35, 9 seulement sur les 70 échantillons portant ce marqueur soit 12.5% repartis en 5 pour les fruits, 3 pour les légumes et 1 seul pour les céréales. Pour ce qui concerne le marqueur TNOS, seul un fruit le portait sur les 70 échantillons testés soit 2.63%. Aucun des échantillons ne portait le marqueur PFMV.

Pourcentage du type d'échantillon testé positif :

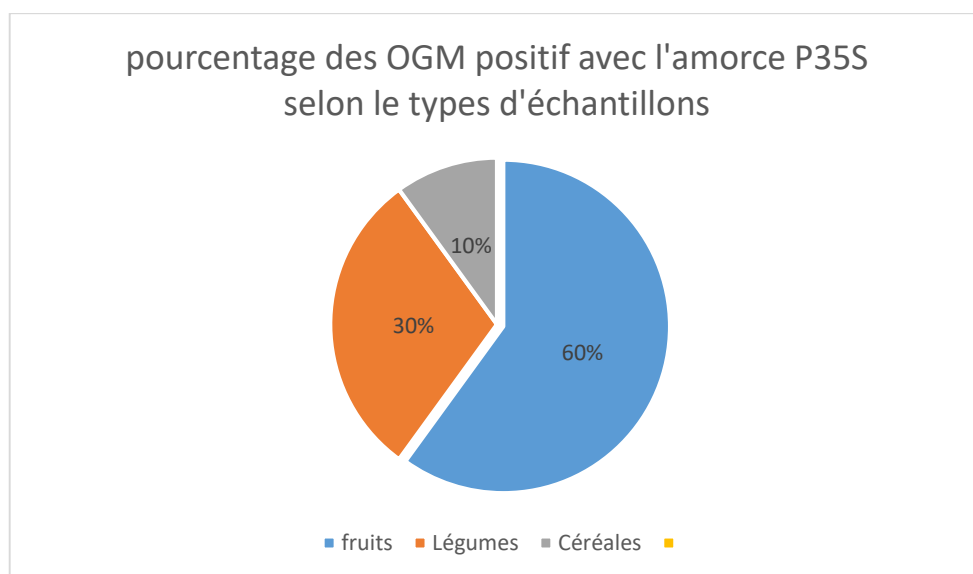


Figure 12: Type des échantillons testés positifs

Les fruits représentaient 60% échantillons testés positifs suivis des légumes 30% et les céréales 10% avec l'amorce P35S

5.3 Détermination de l'origine des céréales ainsi que les fruits et légumes importés dans le district de Bamako :

Tableau XIII: Répartition des OGM selon la nature de l'échantillon

Provenance	Fruits	Légumes	Céréales	Positifs
Maroc	4	2	0	6
Afrique du sud	1	0	0	1
Cote d'ivoire	1	0	0	1
Inde	0	1	1	2
Total	6	3	1	10

La moitié (6/10) provenait du Maroc cela s'explique par rapport à la taille des échantillons prélevés provenant du Maroc (35/72) qui correspondait à la moitié de la taille totale de l'échantillonnage. Ces produits étaient des fruits (4) et légumes (2).

Tableau XIV: Lieu d'échantillonnage des OGM

Lieu d'échantillonnage des OGM	Effectif	Positif	Pourcentage %
Commune II	27	4	40
Commune V	41	6	60
Commune IV	4	0	0
Total	72	10	100

Les produits OGM étaient échantillonnés dans les communes II et V avec un pourcentage de 60% pour la commune V et 40% pour la commune IV.

Répartition des échantillons testés positifs par les marqueurs de dépistage selon les communes

Tableau XV: Répartition des OGM en fonction des Communes

Communes de collecte	Fruits	Légumes	Céréales	Positifs
Commune V	4	1	1	6
Commune IV	0	0	0	0
Commune II	2	2	0	4
Total des répartitions	6	3	1	10

Les échantillons positifs provenaient de la commune V dont quatre échantillons de fruits, un échantillon de légumes et un échantillon de céréale et de la commune II dont deux échantillons de fruits et deux échantillons de légumes.

Tableau XVI: Répartition des OGM en fonction des marqueurs

Positifs	Marqueurs	Origine	Commune de collecte
Petite tomate	P35s	Maroc	V
Melon	P35s	Afrique du sud	V
Banane	P35s	Cote d'ivoire	V
Poivron	P35s	Maroc	V
Orange	P35s	Maroc	II
Tomate	P35s	Maroc	II
Chou violet	P35s	Maroc	II
Piment hindou	P35s	Inde	II
Petite tomate	Tnos	Maroc	V
Riz basmati	P35s	Inde	V

La plupart des échantillons étaient positifs au marqueur P35s (90%), ils provenaient majoritairement du Maroc et ont été collectés dans la commune V.

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

Tableau XVII: Conformité des échantillons positifs collectés au protocole de Cartagena (Etiquetage)

Type	Nombre d'échantillons Positifs	Distribution de l'échantillon		Présence d'étiquetage OGM	
		Étalage	Supermarché	Étalage	Supermarché
Fruits	6	6	0	0	n/a
Légume	3	1	2	0	0
Céréales	1	0	1	n/a	0
Total	10	7	3	0	0

6 Commentaires et discussion

Les limites de notre étude étaient entre autre la difficulté de répertorier l'origine des échantillons de fruits, légumes et céréales. Cette étude étant la première connue visant à tester la présence de séquences génétiquement modifiées dans des échantillons de fruits et légumes frais sur le marché au Mali nous n'avons pas de référence sur lequel faire une comparaison.

Notre objectif était de détecter la présence de certains marqueurs spécifiques aux organismes génétiquement modifiés et ainsi confirmer la présence d'OGM dans les céréales, les fruits et légumes couramment consommés et importés au Mali. Nous avons utilisé la PCR comme méthode de détection des OGM, qui selon beaucoup d'auteurs est une méthode facile, fiable, spécifique et permet de tester plusieurs échantillons à la fois[44]. Elle est basée sur la mise en évidence d'une séquence d'ADN transgénique (promoteur, évènement, terminateur)[44],[9]. La technique de séchage et d'extraction d'ADN n'a pas été effective que sur 2 échantillons parmi les 72. **98.24%** des échantillons ont pu être amplifiés avec l'amorce PLANT. Cela montre la bonne qualité de nos extraits d'ADN et la fiabilité de notre protocole d'extraction d'ADN. Elle est rapide, ne nécessite pas l'intervention de matériels lourds et le coût est moins élevé par rapport à plusieurs méthodes d'extraction d'ADN [36] [11] . Elle ne nécessite pas une très grande quantité de matériels génétiques [45] et cette même technique a été utilisée par Ahatovic et al 2021 dans une étude similaire à la nôtre [46]. Ce protocole simplifié permet d'évaluer la présence des transgènes dans divers échantillons frais (fruits, légumes, céréales) à partir d'ADN exempt d'inhibiteurs et à moindre coût [8] [47]. La présence des inhibiteurs rend la PCR négative même si l'ADN est bien extrait[46]

Le choix des amorces **P35S**, **TNOS** et **PFMV** a été motivé par leur présence dans plus de la moitié des modifications génétique observées chez les végétaux. Ils ont été utilisés dans plusieurs études dans le cadre de la détection des organismes contenant des modifications génétiques [48], [8] . Une première étude au Mali menée par Traore et al. 2019 avait signalé la présence d'OGM dans des céréales (Mais) à Bamako [19].

Selon Debode et al 2022 le nombre et la source des gènes pour l'identification ne cesse de croître. Ainsi nos marqueurs couramment utilisés dans les laboratoires ne sont plus suffisants pour garantir la détection de tous les organismes génétiquement modifiés qui sont en circulation à nos jours. Il existe plusieurs autres marqueurs qui sont utilisés pour les activités de recherche des transgènes [49].

Le taux de positivité (**12,9%**) est largement inférieur au **55%** obtenu par Deglise et al. 2010 au Québec en 2010 [50]. Le nombre d'échantillon (72) est largement supérieur à celui de

Deglise en 2010 au Québec (33 échantillons) [50] et à celui de Mpoloka et al au Botswana en 2010 [8] . Ce chiffre reste insuffisant par rapport aux 472 échantillons réalisés par Erkan et al en 2017 [51] . Notre taux de positivité des céréales pour le marqueur P35s (11.11%) est inférieur à celui de Aburumman et al 2010 dans une étude qui visait à détecter le maïs génétiquement modifié (100%) [52]. Nos résultats concordent avec ceux de Al Hmoud et al 2010 qui ont obtenu 15.79% de positivité pour la région promotrice 35S [47]. Leur étude était basée sur la détection des modifications génétiques sur des échantillons de maïs et haricot collectés au niveau des marché en Jordanie [47]. Une étude similaire sur 11 types d'aliments à base de maïs et de soja collectés dans des différentes régions en Turquie a obtenu un taux de positivité de 100% avec la même méthode de détection par la technique de la PCR conventionnelle [53]. D'autres études basées sur la détection d'organismes génétiquement modifiés a été réalisée par Zhou et collaborateurs sur 22 échantillons d'aliments humains et animaux a abouti à un total de 6 échantillons positifs qui est inférieur au total de 10 échantillons positifs de notre étude [54]. Les échantillons négatifs avec les amorces **P35S, TNOS et PFMV** peuvent être testés avec d'autres marqueurs pour garantir un bon dépistage de nos échantillons ; comme l'indique Debode et collaborateurs qui ont travaillé sur la détection des promoteurs, transgènes (les évènements) , et terminateurs sur les aliments couramment consommés [49] ; **et Deglise qui a effectué la détection des modification génétique dans les produits d'épicerie** [50]. Ces tests ne ciblent que les gènes permettant l'induction (promoteur) ou l'arrêt (terminateur) de l'expression du gène d'intérêt. L'utilisation des marqueurs spécifiques pour le transgène (évènement) sera aussi un moyen de détection et nous permettra de connaître le type de gène inséré et de déterminer ces effets sur nos échantillons [51]. La faiblesse de notre taux de positivité est le reflet du cadre législatif et réglementaire, qui conditionne l'utilisation commerciale à l'étiquetage systématique de tous les OGM.

Nous avons obtenu dix échantillons positifs répartis en neuf types de fruits ; légumes ou céréales (tomate, melon, banane, poivron, piment, orange, chou, riz). Selon la base de données BCH, il existerait 9 évènements ou transgènes introduit dans les variétés de tomate (*Solanum lycopersicum*). Ces modifications ont été effectuées dans l'objectif de créer une certaine résistance aux antibiotiques, pesticides, maladies phytopathologie et le pourrissement des fruits. Parmi les céréales comme le riz (*oriza*) dans la base de données BCH, les plus grandes modifications concernent le riz (*Oryza sativa*) avec 22 évènements. L'intérêt de ces modifications est la création de variétés résistantes aux pesticides, antibiotiques (kanamycine), maladie bactériennes, fongiques et virales, ou la production de provitamines (surtout vitamine A), changement métabolique au niveau de la plante et l'élimination de certains allergènes. Il

Il existe deux événements introduits au niveau du melon (*Cucumis melo*), ces modifications entraînent une résistance aux antibiotiques (kanamycine) et un retardement du pourrissement. Nous avons également recensé dans la base de données BCH cinq événements introduits au niveau de la banane (*Musa acuminata*) dans l'objectif de créer une résistance aux maladies, aux pesticides et aux antibiotiques (kanamycine). Pour l'orange (*Citrus aurantium*), il existerait trois événements introduits pour une résistance aux bactéries, aux insectes et aux champignons. Nous avons recensé un seul événement introduit au niveau du chou (*Brassica oleracea*) dans le but d'obtenir une résistance aux antibiotiques (kanamycine), aux pesticides et aux maladies. Pour le piment et le poivron (*Capsicum annuum*) nous avons recensé un événement qui permet d'entraîner un changement métabolique au niveau de la plante et des légumes [55]. Nous pensons que les événements liés au pourrissement, aux pathogènes se retrouvent dans nos échantillons dépistés. Cela doit être confirmé par une étude moléculaire pour identifier les événements possibles

Notre étude a également permis de mettre en évidence l'origine de ces OGM.

Sur les 10 échantillons (fruit, légumes et céréales) ayant été collectés dans les communes II, IV et V testés positifs aux différents marqueurs d'identification (P35S et TNOS) aucun ne portait l'étiquette OGM. Cela est une non-conformité au protocole de Cartagena et à la loi malienne qui exige un contrôle et étiquetage de tous organismes génétiquement modifiés.

Cette étude a été menée qu'au niveau de trois communes (II, IV, V) du district de Bamako et n'a concerné que les céréales, fruits et légumes frais parmi tant d'autres aliments importés. Ces données sont insuffisantes pour avoir une approche réelle sur le taux d'incorporation des OGM dans notre alimentation et de déterminer l'origine des fruits et légumes importés dans le district de Bamako et à travers l'ensemble des régions du pays.

C'est la première étude connue visant à tester la présence de séquences génétiquement modifiées dans des échantillons de fruits et légumes frais sur le marché au Mali. Elle a pu souligner la présence de séquences génétiquement modifiées dans les échantillons de fruits et légumes, une analyse plus approfondie est nécessaire pour mieux connaître le taux d'incorporation des OGM dans notre alimentation.

7 Conclusion et Recommandations

7.1 Conclusion

Malgré l'existence de la loi relative à la sécurité en biotechnologie en République du Mali nous avons mis en évidence la présence d'organismes génétiquement modifiés. Sur les 10 échantillons (fruit, légumes et céréales) ayant été collectés dans les communes II, IV et V testés positif aux différents marqueurs d'identification (P35S et TNOS) aucun ne portait l'étiquette OGM. Cela est une non – conformité au protocole de Cartagena et à la loi malienne qui exige un contrôle et étiquetage de tous organismes génétiquement modifiés.

Parmi ces OGM, nous avons identifiés des fruits (6), légumes (3) et céréales (1). Ces OGM étaient importés de pays voisins (Cote d'Ivoire), d'autres pays africains (Maroc, Afrique du sud) et des pays d'autres continents (Inde). La moitié des OGM identifiés provenait du Maroc.

7.2 Recommandations

A la lumière de ces résultats, nous recommandons :

Aux autorités

- ✓ Un renforcement de capacités sur les techniques de détection des OGM (gènes d'intérêt, quantification de la teneur en OGM des produits dérivés) par les structures spécialisées du laboratoire national de biosécurité.
- ✓ Un suivi rigoureux des entrées des céréales, fruits et légumes sur le territoire malien
- ✓ Mettre en vigueur les règles et lois de contrôles des OGM (Protocoles de Cartagena et de Kuala Lumpur) concernant la protection de la biodiversité au Mali
- ✓ Etendre une surveillance à l'échelle nationale
- ✓ Promouvoir l'étiquetage des produits

Aux consommateurs

Privilégier les productions locales

8 Références bibliographiques :

1. Nkuingoua, J. et Pernechele, V. Suivi des politiques agricoles et alimentaires au Mali 2022 [Internet]. FAO; 2022 [cité 14 oct 2023]. Disponible sur: <http://www.fao.org/documents/card/fr/c/cb8952fr>
2. Ogunbayo SA, Ojo DK, Guei RG, Oyelakin OO, Sanni KA. Phylogenetic diversity and relationships among 40 rice accessions using morphological and RAPDs techniques. *Afr J Biotechnol* [Internet]. 2005 [cité 13 oct 2023];4(11). Disponible sur: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/71398>
3. Boubacar Macalou. ETUDE DE LA DISTRIBUTION DU VIRUS DE LA PANACHURE JAUNE DU RIZ AU MALI PAR LA METHODE SEROLOGIQUE. [bamako]: UNIVERSITE DES SCIENCES DES TECHNIQUES ET DES TECHNOLOGIES DE BAMAKO; 2021.
4. Gachet E, Martin GG, Vigneau F, Meyer G. Detection of genetically modified organisms (GMOs) by PCR: a brief review of methodologies available. *Trends Food Sci Technol*. 1 nov 1998;9(11):380-8.
5. König C. OGM : avantages et inconvénients [Internet]. Futura. 2017 [cité 5 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-mais-cereale-grains-precieux-2346/page/5/>
6. Gouvernement du Luxembourg. La tomate, le premier OGM à être commercialisé et depuis [Internet]. 2021 [cité 12 janv 2024]. Disponible sur: <http://ogm.public.lu/fr/informations-generales/histoire-des-ogm/tomate.html>
7. Bogožalec Košir A, Demšar T, Štebih D, Žel J, Milavec M. Digital PCR as an effective tool for GMO quantification in complex matrices. *Food Chem*. 1 oct 2019;294:73-8.
8. Mpoloka SW, El-Kindy O. Screening for genetically modified organisms sequences in food samples in botswana using the Biosmart Allin 2.0 GMO Screening System. *Botsw J Technol* [Internet]. 2 mars 2010 [cité 17 août 2023];17(1). Disponible sur: <http://www.ajol.info/index.php/bjt/article/view/52199>
9. Morisset D, Kralj Novak P, Zupani D, Gruden K, Lavra N, El J. GMOseek: A user friendly tool for optimized GMO testing. *BMC Bioinformatics*. 1 août 2014;15:258.
10. Oliver MJ. Why We Need GMO Crops in Agriculture. *Mo Med*. 2014;111(6):492-507.
11. Gachet E, Martin GG, Vigneau F, Meyer G. Detection of genetically modified organisms (GMOs) by PCR: a brief review of methodologies available. *Trends Food Sci Technol*. nov 1998;9(11-12):380-8.
12. Tagliabue G. The central dogma, “GMO” and defective epistemology. *GM Crops Food*. 27 nov 2017;8(4):209-15.
13. Molecular Devices. Édition génomique (CRISPR/Cas9) [Internet]. 2023 [cité 14 janv 2024]. Disponible sur: <https://fr.moleculardevices.com/applications/gene-editing-with-crispr-engineering>
14. JAMES C. Global status of commercialized biotech. 2016; Disponible sur: <https://www.vigilanceogm.org/les-impacts/impacts-sur-lagriculture>

15. FAO. Loi n°08-042-AN-RM du 1er décembre 2008 relative à la sécurité en Biotechnologie en République du Mali. | FAOLEX [Internet]. 2020 [cité 12 janv 2024]. Disponible sur: <https://www.fao.org/faolex/results/details/fr/c/LEX-FAOC152165/>
16. Boy L. Droit des organismes génétiquement modifiés au Mali et développement durable. *Rev Jurid L'environnement*. 2011;36(4):509-30.
17. Inf'OGM. Qu'est-ce que le Protocole de Cartagena ? [Internet]. Inf'OGM. 2022 [cité 13 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.infogm.org/faq-le-protocole-de-Cartagena-sur-les-OGM>
18. UEMOA. Programme régional de biosécurité de l'UEMOA - Inter-réseaux [Internet]. <https://www.inter-reseaux.org/>. 2008 [cité 13 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.inter-reseaux.org/ressource/programme-regional-de-biosecurite-de-luemoa/>
19. Traore I, Diagne D, Keita I, Doucoure H, Traore M, Teme N, et al. Capacity building for genetically modified organism (GMO) detection in West Africa: Identifying a circulating GMO maize variety in Mali. *Afr J Biotechnol*. 29 mai 2019;18(22):489-93.
20. Saam M, Bordogna Petriccione B, November A. Les impacts des plantes transgéniques dans les pays en voie de développement et les pays en transition. *Rev Eur Sci Soc Eur J Soc Sci*. 1 nov 2004;(XLII-130):295-359.
21. Broeders SRM, De Keersmaecker SCJ, Roosens NHC. How to Deal with the Upcoming Challenges in GMO Detection in Food and Feed. *J Biomed Biotechnol*. 2012;2012:402-18.
22. Broeders SRM, De Keersmaecker SCJ, Roosens NHC. How to deal with the upcoming challenges in GMO detection in food and feed. *J Biomed Biotechnol*. 2012;2012:402418.
23. semae-pedagogie. Les étapes de la transgénèse [Internet]. SEMAE Pédagogie. 2023 [cité 6 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.semae-pedagogie.org/sujet/biotechnologies-etapes-transgenese/>
24. Wang J, Hu X, Wang Y, Zeng H, Liu X, Liu H. Rapid detection of genetically modified products based on CRISPR-Cas12a combined with recombinase polymerase amplification. *Curr Res Food Sci*. 18 nov 2022;5:2281-6.
25. Bogožalec Košir A, Demšar T, Štebih D, Žel J, Milavec M. Digital PCR as an effective tool for GMO quantification in complex matrices. *Food Chem*. 1 oct 2019;294:73-8.
26. Salisu IB, Shahid AA, Yaqoob A, Ali Q, Bajwa KS, Rao AQ, et al. Molecular Approaches for High Throughput Detection and Quantification of Genetically Modified Crops: A Review. *Front Plant Sci*. 16 oct 2017;8:1670.
27. Wang J, Hu X, Wang Y, Zeng H, Liu X, Liu H. Rapid detection of genetically modified products based on CRISPR-Cas12a combined with recombinase polymerase amplification. *Curr Res Food Sci*. 18 nov 2022;5:2281-6.
28. Kamle M, Kumar P, Patra JK, Bajpai VK. Current perspectives on genetically modified crops and detection methods. *3 Biotech*. juill 2017;7(3):219.
29. Holst-Jensen A, Rønning SB, Løvseth A, Berdal KG. PCR technology for screening and quantification of genetically modified organisms (GMOs). *Anal Bioanal Chem*. 1 avr 2003;375(8):985-93.

30. Miraglia M, Berdal KG, Brera C, Corbisier P, Holst-Jensen A, Kok EJ, et al. Detection and traceability of genetically modified organisms in the food production chain. *Food Chem Toxicol Int J Publ Br Ind Biol Res Assoc.* juill 2004;42(7):1157-80.
31. Aburumman A, Migdadi H, Akash M, Al-Abdallat A, Dewir YH, Farooq M. Detection of genetically modified maize in Jordan. *GM Crops Food.* 2020;11(3):164-70.
32. Wiackowski SK. [Genetically modified food and allergy]. *Przegl Lek.* 2004;61 Suppl 3:22-4.
33. Saam M, Bordogna Petriccione B, November A. Les impacts des plantes transgéniques dans les pays en voie de développement et les pays en transition. *Rev Eur Sci Soc Eur J Soc Sci.* 1 nov 2004;(XLII-130):295-359.
34. NOISETTE C. PGM en Afrique : des législations sous pression [Internet]. *Inf'OGM.* 2022 [cité 5 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.infogm.org/PGM-en-Afrique-des-legislations>
35. carte du district de bamako avec communes – Recherche Google [Internet]. [cité 6 févr 2024]. Disponible sur: https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sca_esv=5ee345275e04b3bb&sxsrf=ACQVn0-COC-vM_7SAD3BgExlfvD87H0Zxw:1707251294772&q=carte+du+district+de+bamako+avec+communes&tbm=isch&source=lnms&prmd=ivnsmbz&sa=X&ved=2ahUKEwj6_93XxpeEAxWTU6QEHX4xAhoQ0pQJegQIDRAB&biw=1366&bih=643#imgsrc=Y3G6kiyztUhBGM
36. Abdel-Latif A, Osman G. Comparison of three genomic DNA extraction methods to obtain high DNA quality from maize. *Plant Methods.* 3 janv 2017;13:1.
37. Morisset D, Novak PK, Zupanič D, Gruden K, Lavrač N, Žel J. GMOseek: a user friendly tool for optimized GMO testing. *BMC Bioinformatics* [Internet]. 1 août 2014 [cité 7 avr 2021];15(1). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4138379/>
38. Holden MJ, Levine M, Scholdberg T, Haynes RJ, Jenkins GR. The use of 35S and Tnos expression elements in the measurement of genetically engineered plant materials. *Anal Bioanal Chem* [Internet]. mars 2010 [cité 9 avr 2021];396(6):2175-87. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2836466/>
39. Mao D, Mu W, Yang X. [Detection of the genetically modified organisms in genetically modified soybean and maize by polymerase chain reaction method]. *Wei Sheng Yan Jiu.* juin 2002;31(3):184-7.
40. UE. ISO 21569:2005 [Internet]. ISO. 2005 [cité 6 juill 2023]. Disponible sur: <https://www.iso.org/standard/34614.html>
41. Lipp M, Bluth A, Eyquem F, Kruse L, Schimmel H, Van DEGLM, et al. Validation of a Method Based on Polymerase Chain Reaction for the Detection of Genetically Modified Organisms in Various Processed Foodstuffs. [Internet]. JRC Publications Repository. 2000 [cité 6 juill 2023]. Disponible sur: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC20261>
42. Wu Y, Wang Y, Li J, Li W, Zhang L, Li Y, et al. Development of a general method for detection and quantification of the P35S promoter based on assessment of existing methods. *Sci Rep* [Internet]. 8 déc 2014 [cité 9 avr 2021];4. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4258656/>

43. Lu IJ, Lin CH, Pan TM. Establishment of a system based on universal multiplex-PCR for screening genetically modified crops. *Anal Bioanal Chem.* mars 2010;396(6):2055-64.
44. Cankar K, Chauvensy-Ancel V, Fortabat MN, Gruden K, Kobilinsky A, Zel J, et al. Detection of nonauthorized genetically modified organisms using differential quantitative polymerase chain reaction: application to 35S in maize. *Anal Biochem.* 15 mai 2008;376(2):189-99.
45. Bénédict S, Barret P. Technique d'extraction d'ADN génomique de végétaux permettant l'amplification de longs fragments à partir d'une petite quantité de matériel. 2018;
46. Ahatović A, Al-Momani E, Bajrovic K, Durmic A. Efficiency of End-Point PCR Based Detection of Genetically Modified Organisms (GMOs) in Food and Feed. *J Agric Sci Technol.* 17 févr 2021;23:437-46.
47. Al-Hmoud N, Al-Rousan H, Hayek BO, Ibrahim MA. Detection of Genetically Modified Maize and Soybean Food Products in the Jordanian Market. *Biotechnology.* 21 oct 2010;9(4):499-505.
48. Ahatovic A, Al-Momani E, Bajrovic K, Durmic-Pasic A. Efficiency of End-Point PCR Based Detection of Genetically Modified Organisms (GMOs) in Food and Feed. 2021;
49. Debode F, Janssen E, Berben G. LA DETECTION DES OGM AU CRA-W. avr 2022; Disponible sur: https://scholar.google.com/scholar?q=+marqueurs+for+identification+of+OGM&hl=fr&as_sdt=0%2C5&as_ylo=2018&as_yhi=2023
50. Deglise F. Présence discrète des OGM dans le panier d'épicerie [Internet]. *Le Devoir.* 2010 [cité 17 août 2023]. Disponible sur: <https://www.ledevoir.com/societe/consommation/281367/presence-discrete-des-ogm-dans-le-panier-d-epicerie>
51. Erkan I, Dastan K. REAL-TIME PCR DETECTION OF GENETICALLY MODIFIED ORGANISMS IN SEVERAL FOOD PRODUCTS AND THEIR ENVIRONMENTAL EFFECTS IN TURKEY. *Fresenius Environ Bull.* avr 2017;26(4).
52. Aburumman A, Migdadi H, Akash M, Al-Abdallat A, Dewir YH, Farooq M. Detection of genetically modified maize in Jordan. *GM Crops Food.* 11(3):164-70.
53. Meriç S, Cakır O, Turgut-Kara N, Arı S. Detection of genetically modified maize and soybean in feed samples. *Genet Mol Res GMR.* 25 févr 2014;13(1):1160-8.
54. Zhou J chang, Yang M jie, Yang X fen, Huang J ming. [Detection of genetically modified organisms in food and animal feed by polymerase chain reaction]. *Wei Sheng Yan Jiu.* nov 2005;34(6):732-4.
55. Search | Biosafety Clearing-House [Internet]. [cité 14 déc 2023]. Disponible sur: <https://bch.cbd.int/en/search?schema=organism¤tPage=1>

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

ANNEXE

Fruits	Commune de collecte	Provenance	PCR Plant	PCR P35	PCR TNOS	PCR PFMV
Tomate	5	Maroc	+	-	-	-
Prune	5	Afrique du sud	+	-	-	-
Raisin	5	Afrique du sud	+	-	-	-
Petite tomate	5	Maroc	+	-	-	-
Orange	5	Afrique du sud	+	-	-	-
Kiwi	5	Maroc	+	-	-	-
Poire	5	Afrique du sud	+	-	-	-
Pomme rouge	5	Afrique du sud	+	-	-	-
Pomme verte	5	Afrique du sud	+	-	-	-
Petite tomate	5	Maroc	+	+	+	-
melon	5	Afrique du sud	+	+	-	-
pamplemousse	5	Afrique du sud	+	-	-	-
papaye	2	Ghana	+	-	-	-
pamplemousse	2	Maroc	+	-	-	-
Poire	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Pomme verte (Sylla)	5	Maroc	-	-	-	-
Pomme rouge (Sylla)	5	Maroc	-	-	-	-
orange	2	Maroc	+	+	-	-
banane	5	Cote d'ivoire	+	+	-	-
melon	5	Ghana	+	-	-	-

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

pamplemousse	2	Maroc	+	-	-	-
grenadine	2	France	+	-	-	-
Raisin	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Kiwi	2	Afrique du sud	+	-	-	-
melon	2	Afrique du sud	+	-	-	-
melon	4	Sénégal	+	-	-	-
Tomate	4	Inconnue	+	-	-	-
Tomate	2	Maroc	+	+	-	-
nectarine	2	Afrique du sud	+	-	-	-
pomme rouge	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Fruits	Commune de collecte	Provenance	PCR Plant	PCR P35	PCR TNOS	PCR PFMV
Poire	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Pomme verte	2	Afrique du sud	+	-	-	-
nectarine	2	France	+	-	-	-
clémentine	2	Maroc	+	-	-	-
citron	2	France	+	-	-	-
orange	2	Maroc	+	-	-	-

Légumes	Commune de collecte	Provenance	PCR PLANT	PCR P35	PCR TNOS	PCR PFMV
Carotte	5	Maroc	+	-	-	-
Betterave	5	Maroc	+	-	-	-
Betterave	5	Maroc	+	-	-	-
Choux violet	5	Maroc	+	-	-	-
Petit pois	5	Maroc	+	-	-	-

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

Salade chou pomme	5	Maroc	+	-	-	-
Poivron	5	Maroc	+	+	-	-
Piment	5	Maroc	+	-	-	-
Grande courgette	5	Maroc	+	-	-	-
Petite courgette	5	Maroc	+	-	-	-
Salade violacée	5	Maroc	+	-	-	-
Brocoli	5	Maroc	+	-	-	-
Concombre	2	Chine	+	-	-	-
Poivron rouge	2	Maroc	+	-	-	-
Betterave	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Chou violet	2	Inconnue	+	+	-	-
Carotte	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Piment hindou	2	Inde	+	+	-	-
Carotte	4	Maroc	+	-	-	-
Poivron jaune	5	Inconnue	+	-	-	-
Chou-fleur	2	Inconnue	+	-	-	-
Poivron rouge	2	Maroc	+	-	-	-
Carotte	2	Maroc	+	-	-	-
Poivron rouge	4	Maroc	+	-	-	-

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

Céréales	Commune de collecte	Provenance	PCR PLANT	PCR P35	PCR TNOS	PCR PFMV
Riz Thaï	5	France	+	-	-	-
Riz le Kamalis	5	Cambodge	+	-	-	-
Riz Thaï Lustucru	5	France	+	-	-	-
Riz Basmati	5	France	+	+	-	-
Riz 3 riz	5	France	+	-	-	-
Riz complet	5	France	+	-	-	-
Riz Gambianga	5	Mali	+	-	-	-
Riz big joe gold	5	Inde	+	-	-	-
Riz Gambianga	5	Amérique	+	-	-	-
Riz Suprême (BB)	5	Inconnue	+	-	-	-
Riz Royal	5	Thaïlande	+	-	-	-
Riz Bella Luna	5	Pakistan	+	-	-	-

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

Tableau : échantillons positifs pour les marqueurs P35 et TNOS

Echantillons	Commune	Provenance	PCR P35
Petite tomate	5	Maroc	+
Melon	5	Afrique du sud	+
Banane	5	Cote d'ivoire	+
Poivron	5	Maroc	+
Riz basmati	5	France	+
Orange	2	Maroc	+
Tomate	2	Maroc	+
Chou violet	2	inconnue	+
Piment hindou	2	Inde	+

Tableau : échantillon positif avec le marqueur TNOS

Echantillon	Commune	Provenance	PCR TNOS
Petite tomate	5	Maroc	+

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

Tableau : échantillons de fruits de la commune 5

Fruits	Commune	Provenance	PCR PLANT	PCR P35	PCR TNOS	PCR PFMV
Tomate	5	Maroc	+	-	-	-
Prune	5	Afrique du sud	+	-	-	-
Raisin	5	Afrique du sud	+	-	-	-
Petite tomate	5	Maroc	+	-	-	-
Orange	5	Afrique du sud	+	-	-	-
Kiwi	5	Maroc	+	-	-	-
Poire	5	Afrique du sud	+	-	-	-
Pomme rouge	5	Afrique du sud	+	-	-	-
Pomme verte	5	Afrique du sud	+	-	-	-
Petite tomate	5	Maroc	+	+	+	-
Melon	5	Afrique du sud	+	+	-	-
pamplemousse	5	Afrique du sud	+	-	-	-
Pomme verte (Sylla)	5	Maroc	-	-	-	-
Pomme rouge (Sylla)	5	Maroc	-	-	-	-
Melon	5	Ghana	+	-	-	-

TABLEAU : échantillons de fruits de la commune 4

Fruits	Commune	provenance	PCR PLANT	PCR P35	PCR TNOS	PCR PFMV
Melon	4	Sénégal	+	-	-	-
Tomate	4	Inconnue	+	-	-	-

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

Tableau : fruits de la commune 2

Fruits	Commune	Provenance	PCR PLANT	PCR P35	PCR TNOS	PCR PFMV
Papaye	2	Ghana	+	-	-	-
pamplemousse	2	Maroc	+	-	-	-
Poire	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Orange	2	Maroc	+	+	-	-
pamplemousse	2	Maroc	+	-	-	-
grenadine	2	France	+	-	-	-
Raisin	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Kiwi	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Melon	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Tomate	2	Maroc	+	+	-	-
Nectarine	2	Afrique du sud	+	-	-	-
pomme rouge	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Orange	2	Maroc	+	-	-	-
Poire	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Pomme verte	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Nectarine	2	France	+	-	-	-
clémentine	2	Maroc	+	-	-	-
Citron	2	France	+	-	-	-

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

Tableau : échantillons de légumes de la commune 5

Légumes	Commune	Provenance	PCR PLANT	PCR P35	PCR TNOS	PCR PFMV
Carotte	5	Maroc	+	-	-	-
Betterave	5	Maroc	+	-	-	-
Betterave	5	Maroc	+	-	-	-
Choux violet	5	Maroc	+	-	-	-
Petit pois	5	Maroc	+	-	-	-
Salade chou pomme	5	Maroc	+	-	-	-
Poivron	5	Maroc	+	+	-	-
Piment	5	Maroc	+	-	-	-
Grande courgette	5	Maroc	+	-	-	-
Petite courgette	5	Maroc	+	-	-	-
Salade violacée	5	Maroc	+	-	-	-
Brocoli	5	Maroc	+	-	-	-
Poivron jaune	5	Inconnue	+	-	-	-

Détection des OGM dans les fruits et légumes couramment consommés au Mali

Tableau : échantillons de légumes de la commune 2

Légumes	Commune	Provenance	PCR PLANT	PCR P35	PCR TNOS	PCR PFMV
Concombre	2	Chine	+	-	-	-
Poivron rouge	2	Maroc	+	-	-	-
Betterave	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Chou violet	2	Inconnue	+	+	-	-
Carotte	2	Afrique du sud	+	-	-	-
Piment hindou	2	Inde	+	+	-	-
Chou-fleur	2	Inconnue	+	-	-	-
Poivron rouge	2	Maroc	+	-	-	-
Carotte	2	Maroc	+	-	-	-

Tableau : échantillons de légumes de la commune 4

Légumes	Commune	Provenance	PCR PLANT	PCR P35	PCR TNOS	PCR PFMV
Carotte	4	Maroc	+	-	-	-
Poivron rouge	4	Maroc	+	-	-	-

FICHE SIGNALÉTIQUE

Nom : **TRAORE**

Prénom : **Awa Niogo**

Téléphone : 94269080

Adresse email : traoreawaniogo02@gmail.com

Titre de la thèse : **Détection des OGM dans les denrées alimentaires couramment consommées au Mali (cas des céréales, fruits et légumes)**

Année universitaire : 2022-2023

Pays : Mali

Ville de soutenance : Bamako

Lieu de dépôt : Bibliothèque de la Faculté de Pharmacie et de la Faculté de Médecine d'Odontostomatologie

Domaine : Biologie Moléculaire

Résumé :

Au Mali nous avons la présence de diverses variétés de céréales, de fruits et de légumes provenant d'un peu partout dans le monde. C'est ainsi que nous avons entrepris une étude pour la cartographie des denrées génétiquement modifiées dans le district de Bamako au Mali.

La taille de l'échantillon est fixée à 72 échantillons de céréales, de fruits et légumes. Il s'agit d'une étude prospective sur la période de Mars 2021 à Août 2023 dans les communes II, IV, V du district de Bamako. Nous avons recueilli des données au moyen d'une fiche d'enquête que nous avons adressé aux vendeurs. Il s'agit de faire l'état des lieux de la circulation des OGM à Bamako. L'analyse des résultats permet de mesurer l'importance de ces critères.

Les échantillons positifs collectés provenaient des communes II et V avec un pourcentage respectivement de 40% et 60%. 60% des OGM provenaient du Maroc contre 10% pour l'Afrique du sud et la Côte d'Ivoire.

SERMENT DE GALIEN

Je jure, en présence des maîtres de la Faculté, des conseillers de l'Ordre des

Pharmaciens, et de mes condisciples :

D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur

témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement ;

D'exercer dans l'intérêt de la Santé Publique ma profession avec conscience et de

respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de

L'honneur, de la probité et du désintéressement ;

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa

Dignité humaine ;

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour

Corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels ;

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ;

Que je sois couverte d'opprobres et méprisée de mes confrères si j'y manque !

Je le jure !