

UNIVERSITE DES SCIENCES, DES TECHNIQUES
ET DES TECHNOLOGIES DE BAMAKO



Faculté de Médecine et d'Odonto-Stomatologie

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2022-2023

Thèse N°91/2023

Titre

Etude de la dispersion d'*Anopheles gambiae* sensu lato dans trois villages et leurs environnants en zone sahélienne par marquage-lâcher-recapture (MLR).

Présentée et soutenue publiquement le 15/07/2023 Devant le jury de la faculté de médecine et d'Odonto-Stomatologie

Par : Mr MAMADOU TRAORE

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine (Diplôme d'Etat)

JURY

Président : Monsieur Mahamadou DIAKITE (Professeur)

Membre : Monsieur Moussa Keita (Maître-assistant)

Membre : Monsieur Nafomon Sogoba (Chargé de recherche)

Co-directeur : Monsieur Adama DAO (Chargé de recherche)

Directeur : Monsieur Guimogo DOLO (Professeur)

ADMINISTRATION

DOYEN : **Mr Seydou DOUMBIA** - PROFESSEUR

VICE-DOYEN : **Mme Mariam SYLLA** - PROFESSEUR

SECRETAIRE PRINCIPAL : **Mr Monzon TRAORE** - MAITRE DE

CONFERENCES AGENT COMPTABLE : **Mr Yaya CISSE** -

INSPECTEUR DU TRESOR



LES ENSEIGNANTS A LA RETRAITE

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Mr Ali Nouhoum DIALLO | Médecine interne |
| 2. Mr. Aly GUINDO | Gastro-Entérologie |
| 3. Mr Mamadou M. KEITA | Pédiatrie |
| 4. Mr Siné BAYO | Anatomie-Pathologie-Histo-embryologie |
| 5. Mr Sidi Yaya SIMAGA | Santé Publique |
| 6. Mr Abdoulaye Ag RHALY | Medicine Interne |
| 7. Mr Boulkassoum HAIDARA | Législation |
| 8. Mr Boubacar Sidiki CISSE | Toxicologie |
| 9. Mr Sambou SOUMARE | Chirurgie Générale |
| 10. Mr Daouda DIALLO | Chimie Générale & Minérale |
| 11. Mr Issa TRAORE | Radiologie |
| 12. Mr Mamadou K. TOURE | Cardiologie |
| 13. Mme SY Assitan SOW | Gynéco-Obstétrique |
| 14. Mr Salif DIAKITE | Gynéco-Obstétrique |
| 15. Mr Abdourahamane S. MAIGA | Parasitologie |
| 16. Mr Abdel Karim KOUMARE | Chirurgie Générale |
| 17. Mr Amadou DIALLO | Zoologie - Biologie |
| 18. Mr Mamadou L. DIOMBANA | Stomatologie |
| 19. Mr Kalilou OUATTARA | Urologie |
| 20. Mr Amadou DOLO | Gynéco- Obstétrique . |
| 21. Mr Baba KOUMARE | Psychiatrie |
| 22. Mr Bouba DIARRA | Bactériologie |

23. Mr Bréhima KOUMARE	Bactériologie — Virologie
24. Mr Toumani SIDIBE	Pédiatrie
25. Mr Souleymane DIALLO	Pneumologie
26. Mr Bakoroba COULIBALY	Psychiatrie
27. Mr Seydou DIAKITE	Cardiologie
28. Mr Amadou TOURE	Histo-embryologie
29. Mr Mahamane Kalilou MAIGA	Néphrologie
30. Mr Filifing SISSOKO	Chirurgie Générale
31. Mr Djibril SANGARE	Chirurgie Générale
32. Mr Somita KEITA	Dermato-Léprologie
33. Mr Bougouzié SANOGO	Gastro-entérologie
34. Mr Alhousseini Ag MOHAMED	O.R.L.
35. Mme TRAORE J. THOMAS	Ophthalmologie
36. Mr Issa DIARRA	Gynéco-Obstétrique
37. Mme Habibatou DIAWARA	Dermatologie
38. Mr Yeya Tiémoko TOURE	Entomologie Médicale, Biologie cellulaire, Génétique
39. Mr Sékou SIDIBE	Orthopédie Traumatologie
40. Mr Adama SANGARE	Orthopédie Traumatologie
41. Mr Sanoussi BAMANI	Ophthalmologie
42. Mme SIDIBE Assa TRAORE	Endocrinologie-Diabétologie
43. Mr Adama DIAWARA	Santé Publique
44. Mme Fatimata Sambou DIABATE	Gynéco- Obstétrique
45. Mr Bakary Y. SACKO	Biochimie
46. Mr Moustapha TOURE	Gynécologie/Obstétrique
47. Mr Boubakar DIALLO	Cardiologie
48. Mr Dapa Aly DIALLO	Hématologie
49. Mr Mamady KANE	Radiologie et Imagerie Médicale
50. Mr Hamar A. TRAORE	Médecine Interne
51. Mr. Mamadou TRAORE	Gynéco-Obstétrique
52. Mr Mamadou Souncalo TRAORE	Santé Publique



53. Mr Mamadou DEMBELE	Médecine Interne
54. Mr Moussa Issa DIARRA	Biophysique
55. Kassoum Sanogo	Cardiologie
56. Mr Arouna TOGORA	Psychiatrie
57. Mr Souleymane TOGORA	Odontologie
58. Mr Oumar WANE	Chirurgie Dentaire
59. Mr Abdoulaye DIALLO	Anesthésie — Réanimation
60. Mr Saharé FONGORO	Néphrologie
61. Mr Ibrahim I. MAIGA	Bactériologie — Virologie
62. Mr Moussa Y. MAIGA	Gastro-entérologie — Hépatologie
63. Mr Siaka SIDIBE	Radiologie et Imagerie Médicale
64. Mr Aly TEMBELY	Urologie
65. Mr Tiéman COULIBALY	Orthopédie Traumatologie
66. Mr Zanafon OUATTARA	Urologie
67. Mr Abdel Kader TRAORE	Médecine Interne
68. Mr Bah KEITA	Pneumo-PhtisioLogie
69. Mr Zimogo Zié SANOGO	Chirurgie Générale
70. Mr Samba Karim TIMBO	ORL et Chirurgie cervico-faciale
71. Mr Cheick Oumar GUINTO	Neurologie
72. Mr Samba DIOP	Anthropologie de la Santé
73. Mr Mamadou B. DIARRA	Cardiologie
74. Mr Youssouf SOW	Chirurgie Générale
75. Mme Fatoumata KOUNANDJI	Ophtalmologie
76. Mme Diénéba DOUMBIA	Anesthésie /Réanimation

LISTE DU PERSONNEL ENSEIGNANT PAR D.E.R. & PAR GRADE

D.E.R CHIRURGIE ET SPECIALISTES CHIRURGICALES

1. PROFESSEURS / DIRECTEURS DE RECHERCHE

- | | |
|----------------------------|-------------------------------|
| 1. Mr Nouhoum ONGOIBA | Anatomie & Chirurgie Générale |
| 2. Mr Mohamed Amadou KEITA | ORL |

3. Mr Youssouf COULIBALY	Anesthésie-Réanimation
4. Mr Sadio YENA	Chirurgie Thoracique
5. Mr Djibo Mahamane DIANGO	Anesthésie-Réanimation
6. Mr Adegné TOGO	Chirurgie Générale chef des DER
7. Mr Bakary Tientigui DEMEBELE	Chirurgie Générale
8. Mr Alhassane TRAORE	Chirurgie Générale
9. Mr Yacaria COULIBALY	Chirurgie Pédiatrique
10. Mr Drissa KONIKOMO	Neurochirurgie
11. Mr Oumar DIALLO	Neurochirurgie
12. Mr Mohamed KEITA	Anesthésie-Réanimation
13. Mr Niani MOUKORO	Gynécologie/Obstétrique
14. Mr Drissa TRAORE	Chirurgie Générale
15. Mr Broulaye Massaoulé SAMAKE	Anesthésie-Réanimation
16. Mr Mamadou Lamine DIAKITE	Urologie
17. Mme Kadidiatou SINGARE	ORL-Rhino-laryngologie
18. Mr Youssouf TRAORE	Gynécologie/Obstétrique
19. Mr Japhet Pobanou THERA	Ophtalmologie
20. Mr Honoré Jean Gabriel BERTHE	Urologie
21. Mr Aladji Seidou DEMBELE	Anesthésie-Réanimation
22. Mr Soumaila KEITA	Chirurgie Générale
23. Mr Moussa Abdoulaye OUATTARA	Chirurgien Thoracique et Cardio-vasculaire
24. Mr Seydou TOGO	Chirurgien Thoracique et Cardio-vasculaire
25. Mr Birama TOGOLA	Chirurgie Générale



2. MAITRES DE CONFERANCES / MAITRES DE RECHERCHES

1. Mr Nouhoum NIANI	Anesthésie-Réanimation
2. Mr Lamine TRAORE	Ophtalmologie
3. Mr Ibrahima TEGUETE	Gynécologie /Obstétrique
4. Mr Dramane Nafo CISSE	Urologie
5. Mr Mamadou Tidiani COULIBALY	Urologie
6. Mr Moussa Salif DIALLO	Urologie
7. Mr Alkadri DIARRA	Urologie

8. Mr Amadou KASSOGUE	Urologie
9. Mr Boubacar BAH	Médecine et chirurgie buccale
10. Mr Lassana KANTE	Chirurgie Générale
11. Mr Bréhima COULIBALY	Chirurgie Générale
12. Mr Hamidou Baba SACKO	ORL
13. Mme Fatoumata SYLLA	Ophthalmologie
14. Mr Tioukany THERA	Gynécologie
15. Mr Siaka SOUMAORO	ORL
16. Mr Adama I GUINDO	Ophthalmologie
17. Mr Seydou BAGAYOKO	Ophthalmologie
18. Mr Koniba KEITA	Chirurgie Générale
19. Mr Sididki KEITA	Chirurgie Générale
20. Mr Amadou TRAORE	Chirurgie Générale
21. Mr Bréhima BENGALY	Chirurgie Générale
22. Mr Madiassa KONATE	Chirurgie Générale
23. Mr Sékou Bréhima SOUMARE	Chirurgie Générale
24. Mr Boubacar KAREMBE	Chirurgie Générale
25. Mr Aboulaye DIARRA	Chirurgie Générale
26. Mr Idrissa TOUNKARA	Chirurgie Générale
27. Mr Issa Amadou	Chirurgie Générale
28. Mr Boubacar GUINDO	ORL-CCF
29. Mr Youssouf SIDIBE	ORL
30. Mr Fatomaga Issa KONE	ORL
31. Mr Seydina Alioune BEYE	Anesthésie-Réanimation
32. Mr Hammadoun DICKO	Anesthésie-Réanimation
33. Mr Moustapha Issa MANGANE	Anesthésie-Réanimation
34. Mr Thierno Madane DIOP	Anesthésie-Réanimation
35. Me Mamadou Karim TOURE	Anesthésie-Réanimation
36. Mr Abdoul Hamidou ALMEIMOUNE	Anesthésie-Réanimation
37. Mr Siriman Abdoulaye KOITA	Anesthésie-Réanimation
38. Mr Mahamadoun COULIBALY	Anesthésie-Réanimation



39. Mr Abdoulaye NAPO	Ophtalmologie
40. Mr Nouhoum GUIROU	Ophtalmologie
41. Mr Bougadary COULIBALY	Prothèse Scellée
42. Mme Kadidiatou Oumar TOURE	Orthopédie Dento Faciale
43. Mr Amady COULIBALY	Stomatologie et chirurgie Maxillo-Faciale
44. Mr Oumar COULIBALY	Neurochirurgie
45. Mr Mahamadou DAMA	Neurochirurgie
46. Mr Mamadou Salia DIARRA	Neurochirurgie
47. Mr Youssouf SOGOBA	Neurochirurgie
48. Mr Moussa DIALLO	Neurochirurgie
49. Mr Amadou BOCOUM	Gynécologie/Obstétrique
50. Mme Aminata KOUMA	Gynécologie/Obstétrique
51. Mr Mamadou SIMA	Gynécologie/Obstétrique
52. Mr Seydou FANE	Gynécologie/Obstétrique
53. Mr Ibrahim Ousmane KANTE	Gynécologie/Obstétrique
54. Mr Alassane TRAORE	Gynécologie/Obstétrique
55. Mr Soumana Oumar TRAORE	Gynécologie/Obstétrique
56. Mr Abdoul Kadri MOUSSA	Orthopédie Traumatologie
57. Mr Layes TOURE	Orthopédie Traumatologie

3. MATRES ASSISTANTS / CHARGES DE RECHERCHE

1. Mr Ibrahima SANKARE	Chirurgie Thoracique et cardio vasculaire
2. Mr Abdoul Aziz MAIGA	Chirurgie Thoracique
3. Mr Ahmed BAH	Chirurgie dentaire
4. Mr Seydou GUEYE	Chirurgie buccale
5. Mr Mohamed Kassoum DJIRE	Chirurgie Pédiatrique
6. Mme Fadima KouréissyTALL	Anesthésie-Réanimation
7. Mr Daouda DIALLO	Anesthésie -Réanimation
8. Mr Abdoulaye TRAORE	Anesthésie-Réanimation
9. Mr Abdoulaye KASSAMBARA	Stomatologie et chirurgie Maxillo-faciale

10. Mr Mamadou DIARRA	Ophthalmologie
11. Mme Assiatou SIMAGA	Ophthalmologie
12. Mr Sidi Mohamed COULIBALY	Ophthalmologie
13. Mr Mahamadou DIALLO	Orthopédie Traumatologie
14. Mme Hapssa KOITA	Stomatologie et chirurgie Maxillo-faciale
15. Mr Alhousseini TOURE	Stomatologie et chirurgie Maxillo-faciale
16. Mr Aboulaye SISSOKO	Gynécologie/Obstétrique
17. Mr Kalifa COULIBALY	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie



4. ASSISTANTS /ATTACHES DE RECHERCHE

1. Mme Lydia B. SITA	Stomatologie
----------------------	--------------

D.E.R. DES SCIENCES FONDAMENTALES

1. PROFESSEURS /DIRECTEURS DE RECHERCHE

1. Mr Cheick Bougadari TRAORE	Anatomie-Pathologie Chef de DER
2. Mr Boukarou KAMATE	Anatomie-Pathologie
3. Mr Mahamadou A THERA	Parasitologie-Mycologie
4. Mr Djibril SANGARE	Entomologie Moléculaire Médicale
5. Mr Guimogo DOLO	Entomologie Moléculaire Médicale
6. Mr Bakary MAIGA	Immunologie
7. Mme Safiatou NIARE	Parasitologie-Mycologie

2. MAITRES DE CONFERANCES / MAITRES DE RECHERCHE

1. Mr Karim TRAORE	Parasitologie-Mycologie
2. Mr Abdoulaye KONE	parasitologie-Mycologie
3. Mr Moussa FANE	Biologie, Santé publique, Santé environnement
4. Mr Mamoudou MAIGA	Bactériologie-Virologie
5. Mr Bassirou DIARRA	Bactériologie-Virologie
6. Mme Aminata MAIGA	Bactériologie-Virologie
7. Mr Aboubacar Alassane OUMAR	Pharmacologie
8. Mr Bréhima DIAKITE	Génétique et Pathologie Nucléaire
9. Mr Yaya KASSOGUE	Génétique et Pathologie Nucléaire
10. Mr Oumar SAMASSEKOU	Génétique /Génomique

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 11. Mr Mamadou BA | Biologie, Parasitologie, Entomologie Médicale |
| 12. Mr Bourouma COULIBALY | Anatomie- Pathologie |
| 13. Mr Sanou kho COULIBALY | Toxicologie |
| 14. Mr Boubacar Sidiki Ibrahim DRAME | Biologie Médicale / Biochimie Clinique |
| 15. Mr Sidi Boula SISSOKO | Histologie embryologie et cytogénétique |

3. MAITRES ASSISTANTS / CHARGES DE RECHERCHE

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. Mme Djèneba Bocar FOFANA | Bactériologie-Virologie |
| 2. Mr Bamodi SIMAGA | Physiologie |
| 3. Mme Mariam TRAORE | Pharmacologie |
| 4. Mr Saidou BALAM | Immunologie |
| 5. Mme Arhamatoulaye MAIGA | Biochimie |
| 6. Mr Modibo SANGARE | Pédagogie en Anglais adapté à la Recherche Biomédicale |
| 7. Mr Hama Abdoulaye DIALLO | Immunologie |
| 8. Mr Adama DAO | Entomologie Médicale |
| 9. Mr Ousmane MAIGA | Biologie, Entomologie, Parasitologie |
| 10. Mr Cheick Amadou COULIBALY | Entomologie |
| 11. Mr Drissa COULIBALY | Entomologie Médicale |
| 12. Mr Abdallah Amadou DIALLO | Entomologie, Parasitologie |
| 13. Mr Sidi BANE | Immunologie |
| 14. Mr Moussa KEITA | Entomologie, Parasitologie |



D.E.R. DE MEDECINE ET SPECIALITES MEDICALES

1. PROFESSEURS /DIRECTEURS DE RECHERCHE

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1. Mr Adama Diaman KEITA | Radiologie et Imagerie Médicale |
| 2. Mr Soukalo DAO | Maladies Infectieuses et Tropicales |
| 3. Mr Daouda K MINTA | Maladies Infectieuses et Tropicales |
| 4. Mr Boubacar TOGO | Pédiatrie |
| 5. Mr Moussa T. DIARRA | Hépatogastro-Entérologie |
| 6. Mr Ousmane FAYE | Dermatologie |
| 7. Mr Youssoufa Mamadou MAIGA | Neurologie |
| 8. Mr Yacouba TOLOBA | Pneumo-phtisiologie Chef de DER |

- | | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| 9. Mme Mariam SYLLA | Pédiatrie |
| 10. Mme Fatoumata DICKO | Pédiatrie |
| 11. Mr Souleymane COULIBALY | Psychologie |
| 12. Mr Mahamadou DIALLA | Radiologie et Imagerie Médicale |
| 13. Mr Ichaka MENTA | Cardiologie |
| 14. Mr Abdoul Aziz DIAKITE | Pédiatrie |
| 15. Mr Souleymane COULIBALY | Cardiologie |

2. MAITRES DE CONFERANCES / MAITRES DE RECHERCHE

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Mme Kaya Assetou SOUKHO | Médecine Interne |
| 2. Mme Djénébou TRAORE | Médecine Interne |
| 3. Mr Djibril SY | Médecine Interne |
| 4. Mr Idrissa Ah. CISSE | Rhumatologie |
| 5. Mr Ilo Bella DIALL | Cardiologie |
| 6. Mr Youssouf CAMARA | Cardiologie |
| 7. Mr Mamadou DIAKITE | Cardiologie |
| 8. Mr Massama KONATE | Cardiologie |
| 9. Mr Ibrahim SANGARE | Cardiologie |
| 10. Mr Samba SIDIBE | Cardiologie |
| 11. Mme Asmaou KEITA | Cardiologie |
| 12. Mr Mamadou TOURE | Cardiologie |
| 13. Mme COUMBA Adiaratou THIAM | Cardiologie |
| 14. Mr Boubacar SONFO | Cardiologie |
| 15. Mme Mariam SACKO | Cardiologie |
| 16. Mr Anselme KONATE | Hépto Gastro-Entérologie |
| 17. Mme Kadiatou DOUMBIA | Hépto Gastro-Entérologie |
| 18. Mme Hourouma | Hépto Gastro-Entérologie |
| 19. Mme Sanra Déborah SANOGO | Hépto Gastro-Entérologie |
| 20. Mr Adama Aguisa DICKO | Dermatologie |
| 21. Mr Yamoussa KARABINTA | Dermatologie |
| 22. Mr Mamadou GASSAMA | Dermatologie |
| 23. Mr Issa KONATE | Maladies Infectieuses et Tropicales |



24. Mr Yacouba CISSOKO	Maladies Infectieuses et Tropicales
25. Mr Garan DABO	Maladies Infectieuses et Tropicales
26. Mr Abdoulaye Mamadou TRAORE	Maladies Infectieuses et Tropicales
27. Mr Hamidou Oumar BA	Cardiologie
28. Mr Mody Abdoulaye CAMARA	Radiologie et Imagerie Médicale
29. Mr Salia COULIBALY	Radiologie et Imagerie Médicale
30. Mr Koniba DIABATE	Radiothérapie
31. Mr Adama DIAKITE	Radiothérapie
32. Mr Aphou Sallé KONE	Radiothérapie
33. Mr Souleymane dit Papa COULIBALY	Psychiatrie
34. Mr Seybou HASSANE	Neurologie
35. Mr Guida LANDOURE	Neurologie
36. Mr Thomas COULIBALY	Neurologie
37. Mme Fatoumata Léonie DIAKITE	Pédiatrie
38. Mr Belco MAIGA	Pédiatrie
39. Mme Djénéba KONATE	Pédiatrie
40. Mr Fousseyni TRAORE	Pédiatrie
41. Mr Karamoko SACKO	Pédiatrie
42. Mme Lala N'Drainy SIDIBE	Pédiatrie
43. Mme SOW Djénéba SYLLA	Endocrinologie, Maladies Métaboliques et Nutrition
44. Mr Dianguina dit Noumou SOUMARE	Pneumologie
45. Mme Khadidia OUATTARA	Pneumologie
46. Mr Hamadoun YATTARA	Néphrologie
47. Mr Seydou SY	Néphrologie

3. MAITRES ASSISTANTS/ CHARGES DE RECHERCHE

1. Mr Mahamadoun GUINDO Radiologie et Imagerie Médicale

(FMOS, Entomologie parasitologie, 2023)

Mamadou TRAORE

2. Mr Mamadou N'DIAYE	Radiologie et Imagerie Médicale
3. Mme Hawa DIARRA	Radiologie et Imagerie Médicale
4. Mr Issa CISSE	Radiologie et Imagerie Médicale
5. Mr Mamadou DEMBELE	Radiologie et Imagerie Médicale
6. Mr Ouncoumba DIARRA	Radiologie et Imagerie Médicale
7. Mr Ilias GUINDO	Radiologie et Imagerie Médicale
8. Mr Abdoulaye KONE	Radiologie et Imagerie Médicale
9. Mr Alassane KOUMA	Radiologie et Imagerie Médicale
10. Mr Aboubacar Sidiki N'DIAYE	Radiologie et Imagerie Médicale
11. Mr Souleymane SANOGO	Radiologie et Imagerie Médicale
12. Mr Ousmane TRAOE	Radiologie et Imagerie Médicale
13. Mr Boubacar DIALLO	Médecine Interne
14. Mr Jean Paul DEMBELE	Maladies Infectieuses et Tropicales
15. Mr Mamadou A.C. CISSE	Médecine d'Urgence
16. Mr Adama Seydou SISSOKO	Neurologie-Neurophysiologie
17. Mme Sirtio BERTHE	Dermatologie
18. Mme N'DIAYE Hawa THIAM	Dermatologie
19. Mr Djigui KEITA	Rhumatologie
20. Mr Souleymane SIDIBE	Médecine de la Famille/Communautaire
21. Mr Drissa Mansa SIDIBE	Médecine de la Famille/Communautaire
22. Mr Issa Souleymane GOITA	Médecine de la Famille/Communautaire



4. ASSISTANTS/ ATTACHES DE RECHERCHE

1. Mr Boubacari Ali TOURE	Hématologie Clinique
2. Mr Yacouba FOFANA	Hématologie
3. Mr Diakalia Siaka BERTHE	Hématologie

D.E.R. DE SANTE PUBLIQUE

1. PROFESSEURS / DIRECTEURS DE RECHERCHE

1. Mr Seydou DOUMBIA Epidémiologie
2. Mr Hamadoun SANGHO Santé Publique, Chef de D.E.R.
3. Mr Cheick Oumar BAGAYOKO Informatique Médicale

2. MAITRE DE CONFERANCES /MAITRE DE RECHERCHE

1. Mr Sory Ibrahim DIAWARA Epidémiologie
2. Mr Housseini DOLO Epidémiologie
3. Mr Oumar SANGHO Epidémiologie
4. Mr Abdourahmane COULIBALY Anthropologie de la Santé
5. Mr Oumar THIERO Biostatistique/Bio-informatique

3. MAITRES ASSISTANTS /CHARGES DE RECHERCHE

1. Mr Ousmane LY Santé Publique
2. Mr Ogobara KODIO Santé Publique
3. Mr Cheick Abou COULIBALY Epidémiologie
4. Mr Moctar TOUNKARA Epidémiologie
5. Mr Nouhoum TELLY Epidémiologie
6. Mme Laila Fatouma TRAORE Santé Publique
7. Mr Nafomon SOGOBA Epidémiologie
8. Mr Cheick Papa Oumar SANGARE Nutrition
9. Mr Salia KEITA Médecine de famille/communautaire
10. Mr Samba DIARRA Anthropologie de la santé

4. ASSISTANTS / ATTACHES DE RECHERCHE

1. Mr Seydou DIARRA Anthropologie de la santé
2. Mr Abdrahamane ANNE Bibliothéconomie-Bibliographie
3. Mr Mohamed Mounine TRAORE Santé communautaire



4. Mr Souleymane Sékou DIARRA	Epidémiologie
5. Mme Fatoumata KONATE	Nutrition et Diététique
6. Mr Bakary DIARRA	Santé publique
7. Mr Ilo DICKO	Santé publique
8. Mr Moussa SANGARE	Orientation, contrôle des maladies
9. Mr Mahamoudou TOURE	Epidémiologie

CHARGES DE RECHERCHES & ENSEIGNANTS VACATAIRES

1. Mr Ousseynou DIAWARA	Parodontologie
2. Mr Amsalla NIANG	Odonto Préventive et Sociale
3. Mme Daoulata MARIKO	Stomatologie
4. Mr Issa COULIBALY	Gestion
5. Mr Klétigui Casmir DEMBELE	Biochimie
6. Mr Brahima DICKO	Médecine Légale
7. Mr Bah TRAORE	Endocrinologie
8. Mr Modibo MARIKO	Endocrinologie
9. Mme Aminata Hamar TRAORE	Endocrinologie
10. Mr Ibrahim NIENTAO	Endocrinologie
11. Mr Aboubacar Sidiki Thissé KANE	Parodontologie
12. Mme Rokia SANOGO	Médecine Traditionnelle
13. Mr Benoît Y KOUMARE	Chimie Générale
14. Mr Oumar KOITA	Chirurgie Buccale
15. Mr Mamadou BA	Chirurgie Buccale
16. Mr Baba DIALLO	Epidémiologie
17. Mr Mamadou WELE	Biochimie
18. Mr Djibril Mamadou COULIBALY	Biochimie
19. Mr Tietie BISSAN	Biochimie
20. Mr Kassoum KAYENTAO	Méthodologie de la recherche
21. Mr Babou BAH	Anatomie
22. Mr Zana Lamissa SANOGO	Ethique-Déontologie
23. Mr Lamine DIAKITE	Médecine de travail
24. Mme Mariame KOUMARE	Médecine de travail
25. Mr Yaya TOGO	Economie de la santé
26. Mr Madani LY	Oncologie
27. Mr Abdoulaye KANTE	Anatomie
28. Mr Nicolas GUINDO	Anglais
29. Mr Toumaniba TRAORE	Anglais

30. Mr Kassoum BARRY	Médecine communautaire
31. Mr Blaise DACKOUCO	Chimie organique
32. Mr Madani MARICO	Chimie générale
33. Mr Lamine TRAORE	PAP / PC
34. Mr Abdrahamane Salia MAIGA	Odontologie gériatrique
35. Mr Mohamed Cheick HAIDARA	Droit médical appliqué à l'odontologie et Déontologie légale
36. Mr Abdrahamane A. N. CISSE	ODF
37. Mr Souleymane SISSOKO	PAP / PC Physique
38. Mr Cheick Ahamed Tidiane KONE	Physique
39. Mr Morodian DIALLO	Physique
40. Mr Ibrahim Sory PAMANTA	Rhumatologie

ENSEIGNANTS EN MISSION

Bamako, le / 27 / 04 / 2023

Le Secrétaire Principal



Dr Monzon TRAORE

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Dieu le tout puissant :

Oh ! Mon Seigneur, tu m'as éprouvé par un peu de peur, de faim, de réduction de biens et de personnes pour me permettre d'être parmi les endurants. C'est Toi qui m'as donné la force et le courage nécessaire pour la réalisation de ce travail.

A mes très chers parents :

Je vous remercie pour les efforts et les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien être dans la vie. J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez placé en moi et réalisé vos souhaits. Je vous rends hommage par ce modeste travail en guise de reconnaissance.

Que Dieu vous garde et vous procure santé, bonheur et longévité je vous aime.

Remerciements

Je ne saurais jamais énumérer de façon exhaustive les parents, les amis(es), les connaissances, les collègues et les professeurs qui m'ont apporté leur soutien moral, matériel et financier tout au long de mon parcours scolaire et universitaire. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

À ma patrie : Le Mali

Pour m'avoir offert gratuitement les études médicales à la FMOS (Faculté de médecine et d'Odontostomatologie) qui sont cependant très chères dans les différents pays de la sous-région africaine.

À mon Père : Bakary TRAORE

À celui qui m'a aidé à découvrir le "savoir" le trésor inépuisable. De tous les pères, tu es le meilleur, tu as su m'entourer d'attention, m'inculquer les valeurs nobles de la vie, m'apprendre le sens du travail, de l'honnêteté et de la responsabilité. Tu es et tu seras toujours un exemple à suivre pour tes qualités humaines, ta persévérance et ton perfectionnisme. Des mots ne pourront jamais exprimer la profondeur de mon respect, ma considération, ma reconnaissance et mon amour éternel.

À ma mère : Nana TRAORE

À la plus douce et la plus merveilleuse de toutes les mamans. Aucun hommage ne saurait transmettre à sa juste valeur ; l'amour, le dévouement et le respect que je porte pour toi. Sans toi, je ne suis rien, mais grâce à toi je deviens médecin. J'implore Dieu qu'il te procure santé et qu'il m'aide à te compenser tous les malheurs passés. Pour que plus jamais le chagrin ne pénètre ton cœur, car j'aurais encore besoin de ton amour ce travail qui grâce à toi a pu voir le jour. Je te dédie à mon tour cette thèse qui concrétise ton rêve le plus cher et qui n'est que le fruit de tes conseils et de tes encouragements.

À mes frères et sœurs : Awa et Ousmane

Vos soutiens et encouragements fraternels et familiaux ne m'ont pas manqué. Ce travail est le vôtre. Que le bon Dieu resserre davantage nos liens de fraternité.

À tous mes oncles, tantes, cousins et cousines de la famille TRAORE : retrouvez ici l'expression de ma profonde gratitude. Que Dieu vous récompense tous.

Une mention spéciale au docteur Adama DAO : chef d'unité d'écologie moléculaire de m'avoir donné l'occasion d'effectuer mes travaux de thèse dans son unité. Votre admiration, votre endurance, votre sens élevé de responsabilité et votre rigueur dans le travail font de vous un chercheur modeste. Avec toute mon estime affection et respect, je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

Au Professeur Alpha Seydou YARO : votre amour pour les autres ont été pour moi d'un apport inestimable tant sur le plan professionnel que social. Vous avez été toujours là et disponible pour les autres. Votre étonnante disponibilité, votre rigueur scientifique, vos conseils judicieux, votre maîtrise des problèmes scientifiques et votre savoir-faire ont permis la bonne réalisation de cette œuvre. Puisse Dieu vous donner une longue et heureuse vie.

À mon mentor Moussa DIALLO : C'est avec un immense plaisir que je prends mon stylo pour vous écrire ces quelques mots. Les efforts que vous avez faits pour moi, le temps que vous m'avez donné, les conseils avisés qui éclaireront mon chemin je ne pourrais jamais vous remercier à la hauteur de ce que vous m'avez donné, car grâce à vous, j'ai connu des encadreurs humanistes.

Une mention spéciale à monsieur Zana Lamissa SANOGO : pour son encouragement et ces conseils aussi bien sur le terrain que dans la réalisation de ce travail.

Au docteur Djibril SAMAKE : cher aîné académique recevez toute ma gratitude pour votre disponibilité et votre appui sur le terrain pendant que je faisais mes débuts dans la consultation au village.

J'en remercie le docteur Tovi LEHMANN et ses différents postdocs d'avoir été l'initiateur de ce projet et pour leur soutien moral. Toute ma reconnaissance à l'endroit du LMVR/NIH pour le soutien financier de cette étude. Chers collaborateurs, votre endurance, votre amour pour le travail bien fait et votre esprit de partage ont fait de vous des chercheurs de renommés internationaux. Vive la coopération LMVR/NIH-MRTC ICER Mali.

À Tous mes maîtres et aînés du MRTC : Pr Sékou Fanta Mady TRAORE, Pr Seydou DOUMBIA, Dr Adama DAO, Dr Mamadou B. COULIBALY, Pr Guimogo DOLO, Pr Djibril SANGARE, Dr

Nafomon SOGOBA, Pr Mahamadou DIAKITE , Dr Sibiry SAMAKE, Dr Ousmane MAIGA, Dr Moussa KEITA, Ibrahim Moussa SISSOKO, Dr Mohamed Moumine TRAORE, Souleymane KAREMBE, Boubacar COULIBALY, Adama SACKO, Abdramane FOFANA, Dr Oumou NIARE, Dr Brehima DIALLO, Pr Yaya KASOGUE, Bill KISSOU, Dr Abdallah DIALLO, Dr Cheick A. COULIBALY, Pr Brehima DIAKITE, Sekou GOITA , Sekouba COULIBALY, Makan CAMARA ,Salif KONE, Moridiè SIDIBE, Daman SYLLA, Boubacar TEMBELY ,Daouda NIARE, Sidy BANE et Fadimata CAMARA.

À tous les informaticiens du MRTC : Sidy SOUMARE, Salimata TRAORE, Amadou DIALLO, Mady DIARRA et Issa BAH.

À Tous les personnels et les prescripteurs du centre de santé communautaire de Daoudabougou “ADASCO”

Comme vous le savez, j'ai traversé des moments si difficiles que plus d'une fois j'ai pensé que je ne verrais jamais le bout du tunnel. À chacun de ces moments, vous étiez là pour me reconforter et m'aider à avancer. Je ne vous remercierai jamais assez pour tout ce que vous avez fait pour moi. Dans les pires moments de ma vie, j'ai toujours pu compter sur vous. Je voulais que vous sachiez à quel point vos soutiens ont été d'une grande aide pour moi. Alors du fond du cœur, merci pour vos soutiens (Dr TOGOLA et ses guerriers).

Au personnel du service de psychiatrie du CHU POINT G :

Vous avez toujours répondu présent et avec enthousiasme quand j'avais besoin de vous. Dans les pires moments de ma vie, j'ai toujours pu compter sur vous. Que Dieu tout-puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie pour que vous demeuriez le flambeau illuminant la santé de vos patients.

À mes camarades de la 11^e promotion du numerus clausus : que Dieu nous donne une bonne carrière professionnelle.

À ma camarade thésarde et mes collègues : Mme SIDIBE Kadiatou CISSE, Josué POUDIOUGO, Alassane dit ASSITOUN, Dougoufana SAMAKE, Djibril MAIGA, Oumar KANE, Sekouba BAGAYOKO, Mamou SANOGO, Fily DABO, Fatoumata OULALE, Amadou MAIGA et Yaya COULIBALY.

Merci à monsieur Souleymane KAREMBE, Bakary COULIBALY et le personnel de G4S.

Je tiens à remercier les populations de : Thierola, Zanga et Bako en particulier nos guides Sory THIERO, Madou DIARRA, Bakary THIERO et Madou COULIBALY.

Merci à la famille de Seydou Bassié TOURE : pour leurs aides et soutiens pendant ce travail.

Enfin ces remerciements ne seraient pas complets sans mentionner l'apport des chauffeurs :

Madou DIALLO (à la retraite), Moumini DIALLO, Abdallah SISSAKO, Abdoulaye KONE (à la retraite), Karim TOURE, Balla KEITA, Youssouf DOUMBIA, Djigui FOMBA, Yoro SIDIBE, Ousmane THIAM, David DEMBELE, Modibo COULIBALY, Abdoulaye MAIGA, Bemba DIARRA, Adama DEMBELE, Bourehima B KONATE, Zoumana DOUMBIA, Mamadou COULIBALY, Moussa DIALLO, Djibril I FANE, Diarrah KONARE, Amidou TRAORE, Mamadou DIARRA, Moriba CISSE, Mahamadou KEITA, et Abdoulaye M COULIBALY.

Hommages aux membres du jury

A notre Maître et Président du jury

Pr Mahamadou DIAKITE

- ❖ **PhD en Immunogénétique humaine et parasitaire,**
- ❖ **Vice-Recteur de l'Université des Sciences, Techniques et Technologiques de Bamako,**
- ❖ **Chef de l'Unité Immunogénétique parasitaire du MRTC-Entomologie,**
- ❖ **Directeur Scientifique du Centre Universitaire de Recherche Clinique (UCRC),**
- ❖ **Secrétaire permanent du comité d'éthique de l'USTTB,**
- ❖ **Membre du comité national d'éthique**

Cher Maître, vous nous faites un immense honneur en acceptant de présider ce jury. Votre humanisme, votre sens élevé de la responsabilité et du travail bien fait nous a énormément impressionné. En nous laissant profiter de votre sagesse, de vos connaissances et de votre humilité trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude. Cher Maître puisse Dieu vous accordez une longue vie afin que vous puissiez continuer à apporter votre pierre à l'édifice.

A notre Maître et membre du jury

Dr Moussa KEITA

- ❖ **DEA en Entomologie et Parasitologie médicale,**
- ❖ **PhD en Entomologie et Parasitologie médicale,**
- ❖ **Maître-Assistant en Entomologie-Parasitologie à la Faculté de Médecine et d’Odonto-Stomatologie (FMOS),**
- ❖ **Chercheur au Centre de recherche et de formation sur le paludisme (MRTC).**

Cher Maître, votre expertise, votre rigueur, votre sens élevé de la compréhension apporteront un plus à la qualité de cette thèse. Vous êtes un exemple pour la jeune génération de futurs chercheurs. Soyez remercié pour tout le travail que vous abattez dans le domaine de la recherche en Entomologie. Veuillez recevoir Cher Maître l’expression de ma profonde reconnaissance.

A notre Maître et membre du jury

Dr Nafomon SOGOBA

- ❖ **PhD en épidémiologie,**
- ❖ **Responsable des unités épidémiologiques/GIS/RS et acarologie du MRTC,**
- ❖ **Chargé de recherche à la Faculté de Médecine et d’Odonto-Stomatologie (FMOS),**
- ❖ **Directeur du programme Entomologie du MRTC-ICER Mali.**

Cher Maître C’est pour nous un grand honneur que vous acceptiez de siéger parmi notre honorable jury. Vos qualités professionnelles, humaines, et votre ouverture d’esprit font de vous un maître apprécié de tous. Permettez-nous de vous exprimer notre gratitude et nos remerciements les plus sincères.

A notre Maître et co-directeur

Dr Adama DAO

- ❖ **PhD en Entomologie Médicale,**
- ❖ **Chef de l'unité Ecologie moléculaire des vecteurs à l'ICER/Mali,**
- ❖ **Chargé de recherche à la Faculté de Médecine et d'Odonto-Stomatologie (FMOS).**
- ❖ **Chercheur principal au MRTC-Entomo /FMOS**

Nous vous remercions de la confiance que vous nous avez placée en nous proposant ce travail. Nous avons apprécié vos qualités humaines et scientifiques tout au long de cette thèse. Votre honnêteté intellectuelle, votre grand abord facile ont satisfaits notre admiration. Nous sommes très fiers et très honorés d'être comptés parmi vos disciples. Cher maître c'est un immense plaisir de vous manifester ici, solennellement notre profonde gratitude et nos sincères remerciements.

A notre Maître et Directeur

Pr Guimogo DOLO

- ❖ **PhD en Entomologie et Parasitologie médicale,**
- ❖ **Responsable de l'enseignement de la génétique à la FMOS,**
- ❖ **Chef de l'Unité Biologie moléculaire du MRTC-Entomologie,**
- ❖ **Membre du Comité Sahélien des Pesticides (CILSS),**
- ❖ **Membre du Vector Control Working Group (VCWG) de Roll Back Malaria,**
- ❖ **Consultant du Programme Health Institut de l'Université de Columbia.**

Cher Maître, c'est un honneur et une fierté pour nous de vous voir diriger cette thèse. Merci pour la qualité de l'enseignement reçu et pour tout ce que vous apportez dans le domaine de la recherche. Puisse le Tout-puissant vous gratifiez convenablement. Veuillez recevoir l'expression de toute ma considération et de ma profonde gratitude.

Liste des sigles et abréviations

% = Pourcentage

°C = degré Celsius

ADN = Acide désoxyribonucléique

cm = centimètre

FMOS = Faculté de Médecine et d'Odonto-Stomatologie

FMPOS = Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie

h = heure

H₂O = Eau

ICER = Centre International d'Excellence en Recherche

km = kilomètre

LMVR = Laboratoire de Recherche sur le Paludisme et les Vecteurs

m = mètre

ml = millilitre

MLR = Marquage Lâcher Recapture

mm = millimètre

mn = minute

MRTC = Centre de Recherche et de Formation sur le Paludisme

NIH = Institut National de la Santé

nm = nanomètre

PCR = Réaction de polymérisation en chaine

PNLP = Programme National de Lutte contre le Paludisme

SLIS = Système Local d'Information Sanitaire

s.l = sensu lato

UCRC = Centre Universitaire de Recherche Clinique

USTTB = Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako

UV = Ultraviolet

µl = microlitre

Liste des tableaux

Tableau 1: nombre d'Anopheles marqués et lâchés à Bako, Thierola et Zanga d'août à décembre 2021.....	30
Tableau 2: fréquences d'An gambiae s.l lâché par sexe à Bako, Thierola et Zanga d'août à décembre 2021	31
Tableau 3: fréquences d'An gambiae s.l lâché dans les différentes zones d'août à décembre 2021 dans les trois villages de lâcher.....	32
Tableau 4: taux de recapture d'An gambiae s.l pendant les différents mois dans les trois villages de lâcher	33
Tableau 5: fréquences des femelles d'An.gambiae s.l recapturées dans les trois villages de lâcher d'août à décembre 2021	34
Tableau 6: taux de recapture d'An. gambiae s.l dans les trois villages de lâcher	35
Tableau 7: taux de recapture d'An gambiae s.l dans les différentes zones au niveau des trois villages de lâcher.....	35
Tableau 8: composition des différents couleurs fluorescents dans chaque village d'étude.....	50
Tableau 9: ratio des différentes solutions à utiliser pour produire ces couleurs	50
Tableau 10: préparation de la solution de marquage à Bako	51
Tableau 11 : préparation de la solution de marquage à Thierola	51
Tableau 12: préparation de la solution de marquage à Zanga	51

Liste des figures

Figure 1: photo montrant des adultes d’An. gambiae s.l : Femelle (à gauche) et mâle (à droite). 6	
Figure 2: les principaux stades de digestion du sang et de maturation des ovaires (DETINOVA 1962)..... 8	8
Figure 3 : cycle de développement d’An. gambiae s.l.....11	11
Figure 4 : cycle du Plasmodium chez l’homme et l’anophèle 15	15
Figure 5 : carte du cercle de Banamba avec les villages de MLR et environnants..... 19	19
Figure 6 : photos montrant une séance de marquage des moustiques à Thierola 23	23
Figure 7: carte schématique montrant les différentes zones avec les différentes couleurs et ADN attribuées dans les trois villages de marquage 24	24
Figure 8: photos montrant un composant du smart water..... 25	25
Figure 10 : photo montrant le lâcher des moustiques marqués..... 26	26
Figure 11: proportion des moustiques recapturés dans les deux zones à Bako 36	36
Figure 12: proportion des moustiques recapturés dans les deux zones à Thierola 37	37
Figure 13: proportion des moustiques recapturés au niveau de chacune des zones à Zanga..... 37	37
Figure 14: proportion de moustiques recapturés des différents villages retrouvés au niveau de 38	38
Figure 15: photo montrant un calendrier d’utilisation des ADN du jour à Thierola et Zanga..... 52	52
Figure 16: photo montrant un calendrier d’utilisation des ADN du jour à Bako..... 53	53

Table des matières

Dédicaces	XVI
Remerciements.....	XVII
Hommages aux membres du jury	XXI
Liste des sigles et abréviations.....	XXVI
Liste des tableaux.....	XXVIII
Liste des figures	XXIX
Table des matières.....	XXX
1. INTRODUCTION	1
2. OBJECTIFS	2
2.1. Objectif général	2
2.2. Objectifs spécifiques	2
3. GENERALITES	3
3.1. Vecteur du paludisme	3
3.1.1. Taxonomie et répartition géographique	3
3.1.2. Le complexe <i>Anopheles gambiae</i>	3
3.1.3. Le groupe <i>Anopheles funestus</i>	3
3.1.4. Bio-Ecologie des anophèles.....	4
3.1.5. Accouplement et fécondation	6
3.1.6. Choix de l'hôte et alimentation	7
3.1.7. Lieu de repos	7
3.1.8. Digestion et maturation des œufs	7
3.1.9. Vol.....	8
3.1.10. Dispersion	9

3.1.11.	Longévité	9
3.1.12.	Gîtes larvaires	9
3.1.13.	Les cycles du vecteur <i>Anopheles</i>	11
3.2.	Le Parasite	13
3.2.1.	Systematique	13
3.2.2.	Cycle biologique du parasite :	13
3.3.	Transmission du paludisme	16
3.3.1.	Paludisme instable :	16
3.3.2.	Paludisme stable :	16
3.3.3.	Faciès �pidemiologiques du paludisme au Mali	16
3.4.	Lutte anti vectorielle	17
4.	MATERIEL ET METHODES	18
4.1.	Lieux d'étude	18
4.1.1.	Villages de marquage lâcher et de recapture	18
4.1.2.	Villages contrôles (Dodougou, Dougouguele, M'piabougou et Dialakoro)	18
4.2.	Caractéristiques géographiques des sites d'études	19
4.2.1.	Relief et Hydrographie des sites d'études	19
4.2.2.	Climat et végétation	19
4.2.3.	Faune	20
4.2.4.	Activités �conomiques	20
4.3.	Collecte des données	21
4.3.1.	Capture des moustiques	21
4.3.2.	Marquage des moustiques	21
4.4.	Lâcher des moustiques	25
4.5.	Recapture des moustiques	26

4.6.	Saisie et analyse des données	26
4.7.	Considération éthique.....	27
5.	RESULTATS.....	30
5.1.	Résultats globaux	30
5.2.	Taux de recapture	33
5.3.	Dispersion des moustiques à l'intérieur du même village.....	36
5.4.	Dispersion des moustiques entre les différents villages de marquage et de lâcher.	38
6.	COMMENTAIRES ET DISCUSSION	39
6.1.	Nombre des <i>Anopheles gambiae</i> s.l marqués et lâchés	39
6.2.	Taux de recapture	39
6.3.	Dispersion des moustiques au sein du même village	40
6.4.	Dispersion des moustiques entre les différents villages	40
7.	CONCLUSION	41
8.	RECOMMANDATIONS.....	42
9.	REFERENCES	43
	FICHE SIGNALETIQUE.....	47
38.	ANNEXES.....	50
	SERMENT D'HIPPOCRATE	54

1. INTRODUCTION

Le paludisme est une maladie infectieuse due à un parasite du genre *Plasmodium* transmis à l'homme par l'intermédiaire d'un moustique femelle du genre *Anopheles*. Selon le rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé sur le paludisme, les estimations font état de 247 millions de cas et 619 000 décès dans le monde (OMS 2022). La région africaine de l'OMS supporte une part importante et disproportionnée de la charge mondiale du paludisme (95 % des cas et 96 % des décès) au niveau mondial (OMS 2022).

Au Mali, le paludisme est la première cause de morbidité et de mortalité de même que le premier motif de consultation. Selon le rapport du système local d'information sanitaire 2 666 266 cas de paludisme ont été observés en 2019 avec 1708 cas de décès (SLIS.2020). Les principaux vecteurs au Mali sont : *An. gambiae*, *An. arabiensis*, *An. coluzzii* et *An. funestus* (Toure Y.1979).

L'étude de la dispersion et de l'estimation de la longévité des insectes dans des conditions naturelles par les expériences de Marquage-Lâcher-Recapture (MLR) restent toujours précieuses car elles fournissent des estimations de certaines composantes très précieuses de la capacité vectorielle (abondance des moustiques, préférences trophiques...) et de la lutte anti vectorielle.

Cependant, il faut noter que la plupart de ces études de MLR sur la dispersion des moustiques a été réalisée dans un seul village et dans une même zone de moins de 2 km entre le site de recapture et de lâcher (Toure et al. 1998 ; Lehmann et al. 2010 ; Baber et al. 2010 ; Faiman et al. 2021). Cela est dû généralement à des contraintes logistiques, réduisant ainsi la zone de recapture des moustiques. En effet, pour confirmer ou infirmer l'hypothèse selon laquelle les moustiques ne dépassent pas la zone de recapture, nous avons utilisé une nouvelle méthode de marquage qui nous a permis d'étendre la zone de recapture à plus de 14 km. Cette méthode, combinant des marqueurs d'ADN synthétiques avec un colorant fluorescent (Faiman et al. 2021) permet d'identifier la date de lâcher et la localisation du lieu de lâcher des moustiques recapturés et permet aussi de marquer un nombre illimité de sous-populations de moustiques.

Nous pensons qu'un nombre plus élevé de moustiques marqués et lâchés augmenterait les chances de recaptures et par conséquent permettra de mieux comprendre la dispersion d'*An. gambiae* s.l entre différents villages dans une zone sahélienne au Mali.

2. OBJECTIFS

2.1. Objectif général

- Étudier la dispersion d'*Anopheles gambiae* sensu lato par Marquage-Lâcher-Recapture dans les villages de Bako, Thierola, Zanga et leurs environnants en zone sahélienne du Mali.

2.2. Objectifs spécifiques

- Déterminer le taux de recapture d'*Anopheles gambiae* sensu lato dans les villages de Bako, Thierola, Zanga et environnants ;
- Décrire le mouvement d'*Anopheles gambiae* sensu lato dans les villages de lâcher (Bako, Thierola et Zanga) ;
- Décrire la dispersion d'*Anopheles gambiae* sensu lato entre les différents villages d'étude.

3. GENERALITES

3.1. Vecteur du paludisme

3.1.1. Taxonomie et répartition géographique

Les anophèles appartiennent au phylum des Arthropodes ; à la classe des Insectes ; ordre des Diptères ; famille des Culicidae ; sous-famille des *Anophelinae* et au genre *Anopheles*. Parmi plus de 3400 espèces de moustiques répertoriées dans le monde, le genre *Anopheles* avec près de 500 espèces (Harbach et al. 2004), est plus connu pour son implication dans la transmission du paludisme. Parmi ces 500 espèces d'anophèles, 41 sont considérées comme des vecteurs ayant un impact majeur en santé publique (Hay et al. 2010).

3.1.2. Le complexe *Anopheles gambiae*

Ce complexe est un ensemble d'espèces génétiquement différentes, généralement non interfécondes dans la nature, mais identiques morphologiquement (Fontenille D et al. 2005). Ce groupe comprend neuf espèces à savoir : *An. amharicus* (Hunt et al, 2013), *An. arabiensis* (Patton, 1905), *An. bwambae* (Blanc, 1985), *An. gambiae* (Giles, 1902), *An. coluzzii* (Coetzee et Wikerson, 2013), *An. melas* (Theobald, 1903) *An. comorensis* (Bruhnes, 1997), *An. merus* (Dönitz, 1902), *An. quadriannulatus*, (Theobald 1911).

3.1.3. Le groupe *Anopheles funestus*

Ce groupe est un ensemble d'espèces très proches morphologiquement mais qui présentent de petites différences à un stade au moins de leur développement (Fontenille D et al. 2005). Les espèces de ce groupe sont mal connues et peu étudiées. Il comprend *An. funestus stricto sensu*, *An. confusus*, *An. lesoni*, *An. rivulorum*, *An. rivulorum-like*, *An. brucei*, *An. parensis*, *An. aruni* et *An. vaneedeni*. Parmi une dizaine d'espèces décrites seul *An. funestus stricto sensu* est réellement vecteur de *Plasmodium*. Quant aux autres, elles ne sont généralement pas anthropophiles (Coetzee M et Fontenille D. 2004). Cependant *An. rivulorum* a été retrouvé porteur de *Plasmodium* en Tanzanie (Wilkes TJ et al.1996).

3.1.4. Bio-Écologie des anophèles

La biologie des moustiques comprend deux phases : une première aquatique, couvrant la vie pré-imaginale, c'est-à-dire l'œuf, les stades larvaires et la nymphe ; et une seconde phase qui concerne le moustique adulte ou imago qui est aérienne.

3.1.4.1. Stades pré-imaginaires

- **œuf**

Une ponte d'*anophèle* est composée habituellement de 50 à 300 œufs (Sumba et al. 2004). Les œufs mesurent 0,5 x 0,2 mm et sont pondus séparément. Ils sont munis de deux flotteurs latéraux remplis d'air leur permettant de rester en surface durant l'embryogénèse. La forme de l'œuf de l'anophèle ressemble à un cylindre incurvé aux extrémités et est protégé par plusieurs enveloppes particulières qui, contrairement à d'autres espèces de moustiques, ne lui permettent toutefois pas de résister à la sécheresse. Les œufs éclosent au bout de 24 à 48 heures selon la température du milieu (Carnevale P et al. 2009). Cette éclosion peut durer de 48 à 72 heures dans les climats tropicaux et de 2 à 3 semaines dans les climats tempérés (Beier J C et al. 1990).

- **Larve**

Après l'éclosion la larve se compose de trois parties morphologiquement distinctes (la tête, le thorax, l'abdomen). Elle subit trois mues successives. Chez *An. gambiae* s.l., la larve mesure environ 1 mm de long au premier stade et de 5 à 8 mm au quatrième stade (Carnevale P et al. 2009). A la température de 25 °C, la durée de la phase pré-imaginale est d'une dizaine de jours pour *An. gambiae* et d'une vingtaine pour *An. funestus*. La durée de cette phase est inversement proportionnelle à la température du milieu c'est-à-dire qu'elle s'allonge quand la température diminue et se raccourcit quand elle augmente (cinq jours à 30 °C pour *An. gambiae*) (Carnevale P et al. 2009).

- **Nymphe**

Elle représente le dernier stade de la vie pré-imaginale et de la phase aquatique. A la fin de la vie larvaire, la cuticule de la nymphe se fend longitudinalement pour libérer la nymphe. Celle-ci ne s'alimente pas et subit des remaniements internes très importants au cours de la métamorphose qui permet la transformation en adulte ailé. Il existe un dimorphisme clairement défini forme du genitalia de la femelle (plus court) et du mâle (plus allongé) au stade nymphal permettant la

différenciation entre mâles et femelles. Ce critère est mis à profit pour le sexage des pupes sous microscope au laboratoire. Elle est composée de deux parties : le céphalothorax et l'abdomen.

- Céphalothorax : Il est globuleux et porte deux trompettes respiratoires, qui correspondent aux stigmates antérieurs du thorax de l'adulte. Ces trompettes à extrémités hydrophiles traversent la surface de l'eau et assurent la respiration aérienne de la nymphe.

- Abdomen : Il comprend huit segments bien visibles, dont le huitième porte une paire de palettes natatoires.

3.1.4.2. Moustique adulte

- Tête : Elle comporte deux gros yeux, une paire d'antennes de quinze articles à soies nombreuses et longues chez le mâle, rares et courtes chez la femelle. Une paire de palpes fixée sous les antennes et composée de cinq parties chez l'anophèle. Les palpes sont recouverts d'écailles qui peuvent être de différentes couleurs et utilisées pour l'identification des espèces. Un proboscis (ou trompe) se détache de la partie ventrale de la tête et est dirigé vers l'avant.

- Thorax : Il comprend trois segments (prothorax, mésothorax, métathorax) portant chacun une paire de puissants muscles alaires dans lesquels une paire d'ailes est insérée. Le troisième segment porte une paire d'haltères ou balanciers qui constituent une paire d'ailes postérieures atrophiées qui jouent un rôle d'équilibrage en vol. Les ailes ont de nombreuses écailles claires et foncées ; leur disposition sur le rebord costal est illustrative des anophèles.

- Abdomen : Il est constitué de neuf segments, dont huit sont bien visibles. Chaque segment est constitué d'une plaque chitineuse dorsale et d'une plaque ventrale reliée par une membrane qui permet la dilatation les derniers segments portent l'anus et les appendices génitaux. L'ensemble trompe-tête thorax-abdomen est dans le même alignement. Au repos, cet alignement détermine par rapport au support un angle aigu caractéristique des anophèles.



Figure 1: photo montrant des adultes d'*An. gambiae* s.l : Femelle (à gauche) et mâle (à droite)

Source : www.researchgate.net/figure/Femelle-gauche-et-male-droite-adultes-An-gambiae-Photo-M-Fraiture_fig4_331298922.

3.1.5. Accouplement et fécondation

La femelle ne copule généralement qu'une seule fois, parce qu'elle reçoit à cette occasion suffisamment de spermatozoïdes pour féconder tous les lots successifs d'œufs. Cette copulation a lieu au milieu des essaims formés par les mâles au crépuscule et tôt le matin en dehors des habitats. L'attraction des femelles pour ces essaims varie selon les espèces. Toutefois, il convient de rappeler que l'accouplement peut également avoir lieu à l'intérieur des habitations humaines (Dao A et al. 2008) ; (Charlwood, J. D et al. 2002), (Quraishi M et al. 1965). L'accouplement se fait généralement au deuxième ou au troisième jour après l'émergence chez la femelle ; avant ou après le premier repas de sang. Les mâles sont fertiles après le 3^e jour de vie imaginale. Ce délai est nécessaire pour la maturation des organes reproducteurs qui nécessite une semi-rotation de 180° de l'appareil génital et de l'extrémité abdominale après l'émergence. La femelle n'est probablement fécondée qu'une seule fois (Onyabe DY et al. 1997) et les spermatozoïdes, stockés dans une spermathèque, seront largués à nouveau au cours de chaque ponte. Généralement, la femelle ne prend son premier repas sanguin qu'après la copulation, mais parfois le premier repas sanguin peut être pris par une femelle encore vierge. Le premier lot d'œufs se développe après un ou deux repas sanguins (suivant les espèces) tandis que les lots suivants ne nécessitent qu'un seul repas de sang.

3.1.6. Choix de l'hôte et alimentation

Les habitudes alimentaires et de repos des moustiques sont d'une grande importance dans les programmes de lutte et pour cette raison, elles doivent être bien comprises. La plupart des espèces d'anophèles piquent la nuit entre le coucher et le lever du soleil. Certaines espèces entrent dans les maisons pour piquer (endophages) tandis que d'autres préfèrent piquer à l'extérieur (exophages). Les préférences trophiques des femelles moustiques varient selon les espèces. Certaines préfèrent prendre le repas de sang sur l'homme plutôt que chez les animaux, ils sont appelés anthropophiles, à l'opposé des femelles dites zoophiles qui préfèrent prendre le repas de sang sur les animaux. Bien entendu, celles qui préfèrent prendre les repas de sang sur l'homme sont les plus dangereuses, car elles sont susceptibles de transmettre les pathogènes de maladie d'une personne malade à une personne saine. Les moustiques mâles ne prennent pas de repas de sang et se nourrissent uniquement de repas de sucres qu'ils tirent des plantes (Rober K et al. 2008 ; Müller G et al. 2005 ; et Stone et al. 2009).

3.1.7. Lieu de repos

Après la prise de repas de sang, la femelle moustique se repose pendant une courte période. Les moustiques endophages se reposent habituellement sur un mur, sous le mobilier ou sur des vêtements pendus dans la maison sont dits endophiles. Quant aux moustiques dits exophiles, ils se reposent habituellement sur des plantes, dans des trous, sur des arbres, sur le sol ou dans d'autres endroits frais et sombres à l'extérieur des maisons (Carnevale P et al. 2009)

3.1.8. Digestion et maturation des œufs

Après le repas de sang, la femelle se repose le plus souvent près du sujet sur lequel elle s'est nourrie. Le sang absorbé se concentre, devient noir et exsude les produits aqueux pendant 1 à 2 h pendant la digestion, les ovocytes grossissent jusqu'à occuper la plus grande partie de l'abdomen qui paraît blanc par transparence. Sur la base de l'aspect de son abdomen, un anophèle femelle peut être classé en fraîchement gorgée, semi-gravide ou gravide.

- A jeun : L'abdomen est très plat.

- Gorgée : L'abdomen apparaît rouge clair ou sombre à cause du sang ingéré. Les ovaires occupent une petite place à l'extrémité de l'abdomen, ils ne sont pas rouges et concernent deux segments sur la face ventrale et, tout au plus, 5 segments sur la face dorsale.
- Semi-gravide : Le sang est de couleur sombre, presque noir et occupe 3 ou 4 segments sur la face ventrale et 6 ou 7 sur la face dorsale de l'abdomen dont les ovaires occupent la plus grande partie.
- Gravide : Le sang est réduit à une petite tache sombre sur la face ventrale. Les ovaires occupent le reste de l'abdomen.

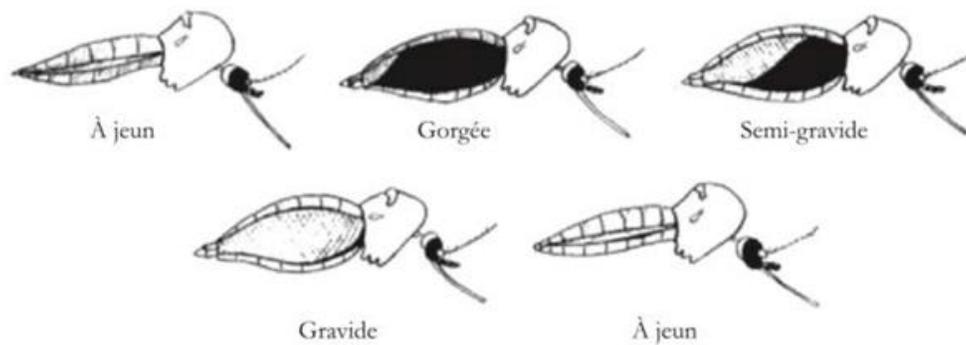


Figure 2: les principaux stades de digestion du sang et de maturation des ovaires (DETINOVA 1962)

3.1.9. Vol

La vitesse de vol des moustiques peut être de l'ordre de 50cm/seconde, mais des arrêts fréquents aboutissent à des déplacements avoisinant 500m/heure et leur rayon d'action est variable selon : les espèces, l'âge, le sexe, la recherche de l'hôte ou du site de ponte et les conditions climatiques (Service M.W et al. 1997). On admet un vol actif qui peut être de l'ordre de 1 à 9km avec une moyenne autour de 3km (Charlwood JD et al. 1989 ; Takken et al. 1998 et Meek et al. 1995) et des vols passifs contre le vent seraient même faits en routine lors de la recherche du repas de sang.

3.1.10. Dispersion

Elle est de 2 types : active et passive.

3.1.10.1. Dispersion active

C'est le déplacement volontaire du moustique. En général les *Anopheles* se dispersent peu autour de leurs gîtes larvaires si les sources d'alimentation sanguine (humaine et animale) sont accessibles. Cependant les possibilités de dispersion active des *Anopheles* sont importantes à connaître pour évaluer les risques d'expansion du paludisme dans la zone à traiter (R Carter et al. 2000).

3.1.10.2. Dispersion passive

C'est un déplacement influé des moustiques par d'autres facteurs. Cette dispersion peut être le fait de nombreux facteurs extérieurs au moustique, tels que les facteurs humains (le transport accidentel d'anophèles par véhicule, bateau ou avion) ; les facteurs atmosphériques (le vent). Elle peut fortement accroître la dispersion active.

3.1.11. Longévité

La durée de vie d'un anophèle adulte se situe autour d'une semaine à dix jours pour les mâles et de deux à quatre semaines pour les femelles en région tropicale. Cette longévité peut être augmentée chez les femelles en zone tempérée, avec le phénomène de diapause hivernale (Mouchet et al. 2004). Cependant des études récentes ont révélé que la plus longue longévité d'*Anopheles coluzzii* dans les conditions d'estivation naturelles rapportée était de sept mois (Lehmann et al. 2010).

3.1.12. Gîtes larvaires

Les gîtes larvaires des anophèles sont très variés. Les anophèles peuvent se développer dans :

* Eaux douces : (*An. gambiae s.s.*) ou saumâtres (*An. melas* et *An. merus* en Afrique sudsaharienne, respectivement sur la façade occidentale et orientale ; *An. aquasalis* en Amérique du Sud ; *An. sudaicus s.l.* en Asie du Sud-Est dans la péninsule indochinoise), voire très salées (*An. azaniae* en Somalie) ;

* Gîtes ensoleillés : (*An. gambiae s.s.*, *An. arabiensis* en Afrique tropicale, *An. pseudopunctipennis* et *An. albimanus* en Amérique ; *An. sudaicus s.l.* en Asie du Sud-Est) ou dans les forêts ombragées (*An. dirus s.l.* dans le Sud-est asiatique, *An. vestitipennis* en Amérique centrale) ;

* Eaux stagnantes : (*An. gambiae s.s.*, *An. funestus*, *An. dirus s.l.*, *An. vestitipennis*) ou dans les eaux courantes, petites rivières (*An. labranchiae*, *An. minimus s.l.*) ou grandes rivières (*An. moucheti*, *An. nili*, *An. darlingi*) ;

* Flaques d’eaux temporaires ensoleillées : (gîte typique d’*An. gambiae s.s.*) ou flaques résiduelles dans le lit des rivières (gîte typique d’*An. pseudopunctipennis*) ou relativement permanentes comme les rizières (*An. gambiae s.s.*, *An. arabiensis*, *An. coustani*, *An. pharoensis*) ou marécages (*An. albimanus*)

Gîtes sans végétation dressée : (*An. gambiae s.s.*) ou avec végétation dressée (*An. funestus*, *An. pharoensis*, *An. albimanus*, *An. sudaicus s.l.*) ou avec présence d’algues filamenteuses vertes (*An. pseudopunctipennis*) ou cyanophycées (*An. albimanus*) (Carneval P et al. 2009)

* Gîtes naturels comme les marais et les marécages ou les trous d’arbres : (*An. plumbeus*), les trous de rochers, les vasques des feuilles engainantes des broméliacées (anophèles du sous-genre *Kerteszia*), ou des gîtes anthropiques comme les citernes (*An. gambiae s.s.* en Grande Comore, *An. arabiensis* en Somalie, *An. stephensi* en Inde ou *An. minimus* à Hanoï, *An. dirus s.l.* au Myanmar), les puits et céanes (*An. arabiensis* à Djibouti et à Dakar), les traces de pneus sur le sol, les empreintes de pas humains ou de sabots, les trous d’emprunt de terre pour la fabrication des briques, etc (Bates 1949).

3.1.13. Les cycles du vecteur *Anopheles*

- Cycle biologique

C'est un cycle au cours duquel se déroulent les différentes étapes d'évolution des stades de développement du moustique. Il s'accomplit entre 9 et 20 jours pour *An. gambiae s.l* et 3 semaines pour *An. funestus*, à la température de 27°C. C'est au cours de ce cycle et plus précisément au moment du repas de sang que l'anophèle est capable de transmettre le paludisme ou de se faire infecter.

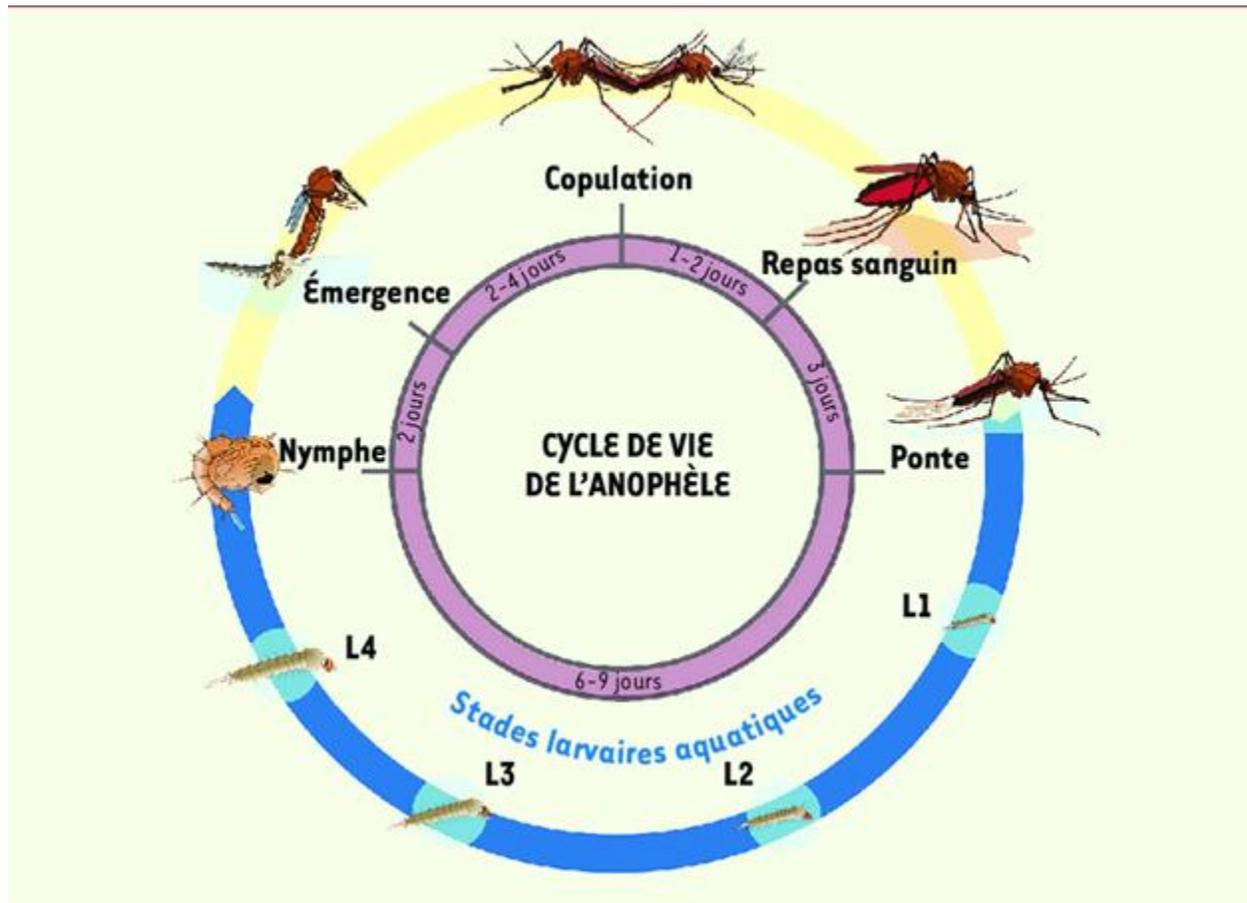


Figure 3 : cycle de développement d'*An. gambiae s.l*

Source : www.researchgate.net/figure/Cycle-de-developpement-d-An-gambiae-s-l-Les-femelles-d-anopheles-pondent-des-oeufs-a-la_fig2_348748856

- **Cycle gonotrophique**

C'est la succession des phénomènes physiologiques qui se produisent chez le moustique femelle entre deux repas de sang successifs. On distingue trois phases : la recherche de l'hôte et sa piqûre par la femelle à jeun ; la digestion du sang qui se déroule dans le même temps que la maturation ovarienne ; la recherche du lieu de ponte de la femelle gravide. Ce cycle a lieu généralement après l'accouplement de la femelle.

La femelle à jeun se met en activité dès le coucher du soleil à la recherche d'un hôte à piquer. La localisation de ce dernier se fait à plusieurs niveaux. L'identification des facteurs d'attractivité et des mécanismes de localisation et de reconnaissance de l'hôte à piquer sont des domaines de recherche actuellement en plein essor. À longue distance, interviennent les stimuli olfactifs tels que des kairomones spécifiques d'espèces animales (ou humaine). À moyenne distance, d'autres attractifs interviennent, comme le gaz carbonique émis par la respiration. À courte distance, la chaleur de l'hôte, l'humidité corporelle et divers facteurs visuels pourraient jouer un rôle important (Sullivan et al. 1981) ; (Charlwood J. D et al. 1980) ; (Charlwood J. D et al. 2002). Pour la piqûre proprement dite, la chaleur relative de l'hôte est un facteur primordial. L'espèce *An. gambiae* s.l. est particulièrement attirée par les odeurs humaines, même à grande distance, et pique préférentiellement les pieds et les chevilles. Contrairement à d'autres moustiques, *An. gambiae* s.l. n'est pas attirée par les odeurs provenant de la respiration. La piqûre d'un anophèle commence vers le crépuscule et continue pendant la nuit jusqu'à l'aurore inclus (Diabaté A et al. 2006). Lors de la piqûre, le sang est ingéré par pompage directe d'un capillaire sanguin. La salive est éjectée depuis le début de la pénétration des pièces buccales jusqu'à la réplétion complète de l'estomac. Cette salive contient des anticoagulants, des substances inflammatoires, des enzymes digestives et des vasodilatateurs. L'agressivité est maximale au milieu de la nuit. Les moustiques pares sont ordinairement occupés par la recherche de l'hôte pour la prise de sang. Quelques jours plus tard après le repas de sang, la ponte a généralement lieu au cours de la première partie de la nuit (Sumba et al. 2004).

3.2. Le Parasite

3.2.1. Systématique

L'agent pathogène du paludisme appartient au phylum des Apicomplexa ; à la classe des Sporozoa ; ordre des Eucoccidiidae ; famille des Plasmodiidae et au genre Plasmodium. Ces plasmodiums humains diffèrent entre eux par plusieurs caractéristiques épidémiologiques, biologiques et cliniques spécifiques (Mouchet et al. 2004).

Il existe plus de 140 espèces de *Plasmodium*, touchant diverses espèces animales mais seulement cinq de ces espèces sont retrouvées en pathologie humaine. Il s'agit de *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium ovale*, *Plasmodium malariae* et le *Plasmodium knowlesi* qui est une espèce de parasite habituellement retrouvé chez les singes (macaques) d'Asie. Il est à l'origine d'une épidémie en voie d'extension chez l'homme et est responsable d'accès graves de paludisme et de décès. Ces cinq espèces diffèrent par des critères cliniques et biologiques, par leur répartition géographique et par leur capacité à développer des résistances aux antipaludiques. *Plasmodium falciparum* est l'espèce responsable des formes cliniques potentiellement mortelles. L'Homme est un hôte réservoir intermédiaire du *Plasmodium*, avec un cycle schizogonique hépatique (pré-érythrocytaire) et érythrocytaire.

3.2.2. Cycle biologique du parasite :

Ce cycle se déroule successivement chez l'homme hôte intermédiaire (phase asexuée) et chez l'anophèle hôte définitif (phase sexuée). Le *Plasmodium* se développe pendant une partie de sa vie dans les hématies, d'où son nom hématozoaire (Singh et al. 2004). Chez l'homme le cycle est lui-même divisé en deux phases : La phase hépatique ou pré-érythrocytaire (exo-érythrocytaire) : elle correspond à la phase d'incubation, elle est cliniquement asymptomatique

La phase érythrocytaire ou sanguine : elle correspond à la phase clinique de la maladie.

3.2.2.1. Schizogonie pré-érythrocytaire :

Les sporozoïtes inoculés par l'anophèle femelle (moins d'une centaine) lors de son repas sanguin restent moins d'une trentaine de minutes dans la peau, la lymphe et le sang avant de gagner les hépatocytes. Une fois qu'il pénètre dans un hépatocyte, il prend le nom de trophozoïte qui est mononucléé. Lors de la schizogonie, le noyau du parasite amplifie son ADN et se divise de façon

binaire, alors que son cytoplasme ne se divise pas. Ils évoluent ainsi en schizontes pré-érythrocytaires (formes multinucléées) qui, après 7 à 15 jours de maturation, éclatent et libèrent des milliers de mérozoïtes uninucléés (dits de première génération) dans le sang (10 000 à 30 000 mérozoïtes). La schizogonie hépatique est unique dans le cycle, la cellule hépatique ne pouvant être infectée que par des sporozoïtes.

Dans les infections à *P. vivax* et *P. ovale*, certains trophozoïtes intrahépatiques restent quiescents (hypnozoïtes) et sont responsables d'une schizogonie hépatique retardée qui entraînent la libération dans le sang de mérozoïtes plusieurs semaines à plusieurs mois après la piqûre du moustique, expliquant ainsi les reviviscences tardives observées avec ces deux espèces. Les hypnozoïtes n'existent pas dans l'infection à *P. falciparum* (pas de rechute). Ils n'ont pas été mis en évidence non plus dans l'infection à *P. malariae* (malgré l'existence de rechutes tardives) et *P. knowlesi*.

3.2.2.2. Schizogonie érythrocytaire :

Très rapidement, les mérozoïtes pénètrent dans les globules rouges. La pénétration des mérozoïtes dans l'érythrocyte, leur maturation en trophozoïtes puis en schizontes matures durent 24, 48 ou 72 heures (en fonction de l'espèce) et conduit à la destruction du globule rouge hôte et à la libération de 4 à 32 nouveaux mérozoïtes (en fonction de l'espèce, du clone et du globule rouge infecté). Ces mérozoïtes pénètrent dans de nouveaux globules rouges et débutent un nouveau cycle de réplication. Cette partie du cycle correspond à la phase clinique. La parasitémie s'élève, le sujet devient fébrile : c'est l'accès palustre. Dans l'accès de primo-invasion, le développement des parasites est asynchrone. Tous les schizontes hépatiques n'arrivent pas à maturité au même moment et la fièvre est souvent continue, anarchique ou irrégulière. Après plusieurs jours d'évolution et en l'absence de traitement, on observe une synchronisation des parasites : tous les schizontes érythrocytaires arrivent à maturation au même moment, entraînant la destruction d'un grand nombre de globules rouges de manière périodique, toutes les 24 heures (fièvre quotidienne à *P. knowlesi*), 48 heures (fièvre tierce de *P. falciparum*, *P. vivax* ou *P. ovale*) ou toutes les 72 heures (fièvre quarte de *P. malariae*).

- **Chez la femelle Anophèle :**

Les gamétocytes ingérés par le moustique lors d'un repas sanguin sur un sujet infecté se transforment en gamètes mâles et femelles qui fusionnent en un œuf libre, mobile, dénommé ookinète. Cet ookinète quitte la lumière du tube digestif, se fixe ensuite à la paroi externe de l'estomac et se transforme en oocyste. Les cellules parasites se multiplient à l'intérieur de cet oocyste, produisant des centaines de sporozoïtes qui migrent ensuite vers les glandes salivaires du moustique. Ces sporozoïtes sont les formes infectantes, prêtes à être inoculées avec la salive du moustique lors d'un repas sanguin sur un hôte vertébré. La durée du développement sporogonique des *Plasmodium* varie en fonction des conditions climatiques : entre 9 et 20 jours pour *P. falciparum* (entre, respectivement, 30°C et 20°C), un peu plus rapide pour *P. vivax* à températures équivalentes (l'espèce tolère aussi des températures plus basses : 18°C), plus long pour *P. malariae*.

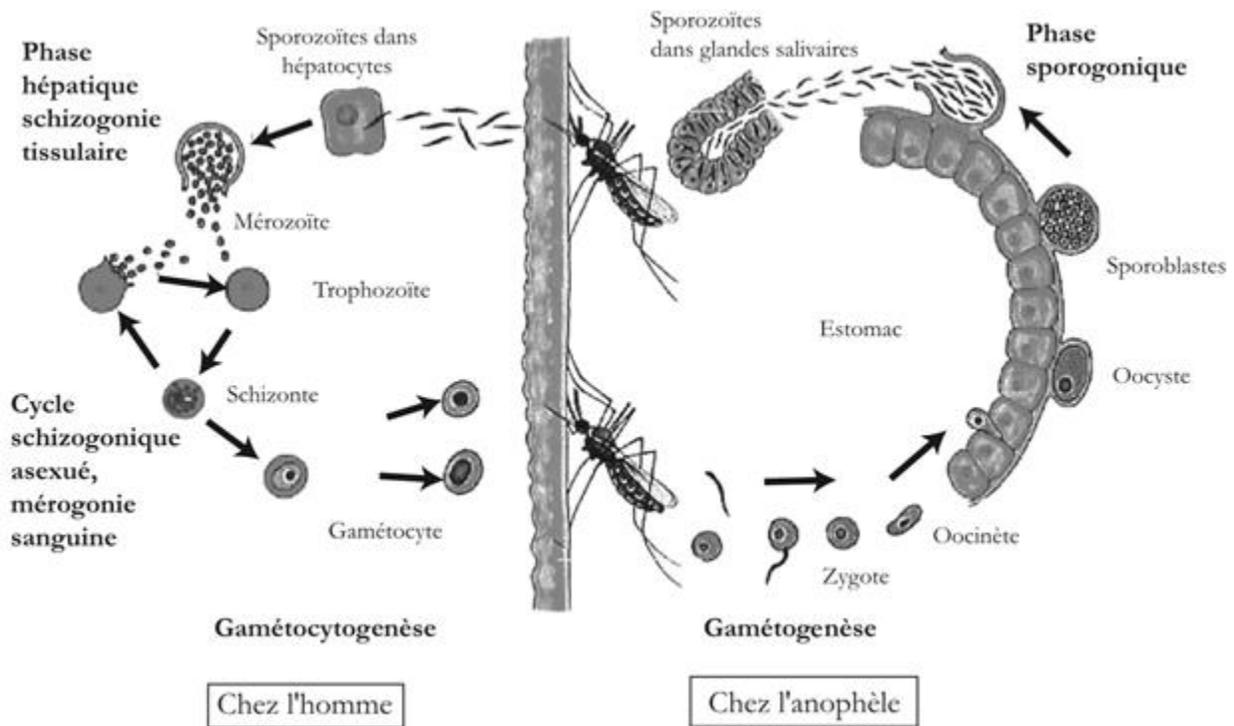


Figure 4 : cycle du Plasmodium chez l'homme et l'anophèle

Source : <https://books.openedition.org/irdeditions/docannexe/image/10391/img-2-small700.png>

3.3. Transmission du paludisme

Le mode de transmission le plus fréquent est la piqûre d'un moustique, l'anophèle femelle. La phase sanguine du cycle du parasite rend possible d'autres modes de contamination : transmission congénitale, transfusionnelle, par greffe d'organe ou transmission accidentelle chez des personnels de santé manipulant du sang contaminé. En pratique, ces transmissions sont tout à fait exceptionnelles et n'influencent pas l'épidémiologie de la maladie. La transmission du paludisme par l'anophèle, nécessite des conditions climatiques, telles que le régime des précipitations, la température et l'humidité (température > 18°C pour *P. falciparum* et > 16° pour *P. vivax*) et d'altitude (< 1500 m en Afrique). D'où la notion de stabilité du paludisme :

3.3.1. Paludisme instable :

C'est un profil de transmission brève avec une durée de vie brève de l'anophèle. Ce qui engendre peu de prémunition des habitants et une forte mortalité à tout âge.

3.3.2. Paludisme stable :

C'est un profil de transmission prolongée avec une circulation anophélienne pérenne. L'anophèle est anthropophile et à une espérance de vie longue ; cela engendre une prémunition rapide, mais une forte mortalité infantile. L'Afrique intertropicale présente globalement un profil de paludisme stable, sauf dans le centre de certaines grandes villes, à une altitude supérieure à 1500 m et dans les zones de transmission faible comme le Sahel.

3.3.3. Faciès épidémiologiques du paludisme au Mali

La transmission du paludisme est très hétérogène au Mali, montrant un profil endémique (hyper endémique ou holo endémique) dans la zone soudano-sahélienne (zone centre et sud), où 50 à 80% des enfants de moins de cinq ans sont porteurs de parasites , un profil épidémique dans la zone saharienne septentrionale, avec un indice plasmodique inférieur à 5% ; un profil hyper endémique (bi-ou plurimodal) dans les zones irriguées/inondables (riziculture bi-annuelle principalement) et un profil hypo endémique en milieu urbain (Cissoko M et al 2021).

3.4. Lutte anti vectorielle

Les directives nationales en matière de lutte anti vectorielle visent à développer la lutte Intégrée contre les vecteurs (LIV) en se basant sur les actions suivantes :

- La promotion des moustiquaires imprégnées d'insecticides, notamment chez les femmes enceintes pendant les consultations prénatales et chez les enfants ciblés lors des activités de vaccination de routine ;
- La promotion de l'utilisation de bio-larvicides pour la destruction des gîtes larvaires ;
- L'encouragement de la recherche opérationnelle notamment dans ses composantes biologique, chimique et génétique avec le développement de directives développées pour le choix des produits utilisés ;
- La pulvérisation intra domiciliaire d'insecticides à effet rémanent dans les zones ciblées ;
- La promotion de l'hygiène et de l'assainissement.

4. MATERIEL ET METHODES

4.1. Lieux d'étude

Cette étude de marquage lâcher et recapture a été réalisée dans les villages de Thierola, Zanga, Bako, Dodougou, Dougouguele, M'piabougou et Dialakoro d'août à décembre 2021. La petite taille de ces différents villages a été le premier critère de choix car l'objectif recherché était de pouvoir capturer au moins dans 80% des cases par jour. Le nombre d'habitants se situe entre 400 (Dougouguele) et 1200 (Bako). Thierola, Bako, Dialakoro et M'piabougou sont des villages de la commune de Kiban. Dougouguele, Zanga et Dodougou sont situés dans la commune rurale de Toukoroba. Ces deux communes font partie du cercle de Banamba.

4.1.1. Villages de marquage lâcher et de recapture

Thierola (13,65° latitude Nord, 7,215° longitude Ouest), Bako (13,64° latitude Nord et 7,26° longitude Ouest) et Zanga (13,68° latitude Nord et 7,22° longitude Ouest) étaient les villages de marquage lâcher et de recapture. Thierola (500 habitants) est situé à 4 km au sud de Zanga (700 habitants) et à 6 km à l'est de Bako (1200 habitants). Zanga est à 7 km au nord-est de Bako. La population est majoritairement constituée de bambaras suivi des peulhs. Les différents types d'habitation fréquemment rencontrés dans tous ces villages sont les maisons traditionnelles en banco, couvertes de pailles, de tôles ou de terres battues.

4.1.2. Villages contrôles (Dodougou, Dougouguele, M'piabougou et Dialakoro)

En plus des villages de marquage et de lâcher, les séances de recaptures avaient eu lieu dans les villages témoins (Dodougou, Dougouguele, M'piabougou et Dialakoro). Dodougou (13,64° latitude Nord et 7,16° longitude Ouest) est situé à 7 km à l'est de Thierola. Dougouguele (13,61° latitude Nord et 7,17° longitude Ouest), est situé à 6 km au sud-est de Thierola. M'piabougou (13,59° latitude Nord et 7,19° longitude Ouest) situé à 6 km au Sud de Thierola. Le village de Dialakoro (13,63° latitude Nord et 7,29° longitude Ouest) situé à seulement 3 km à l'ouest de Bako.

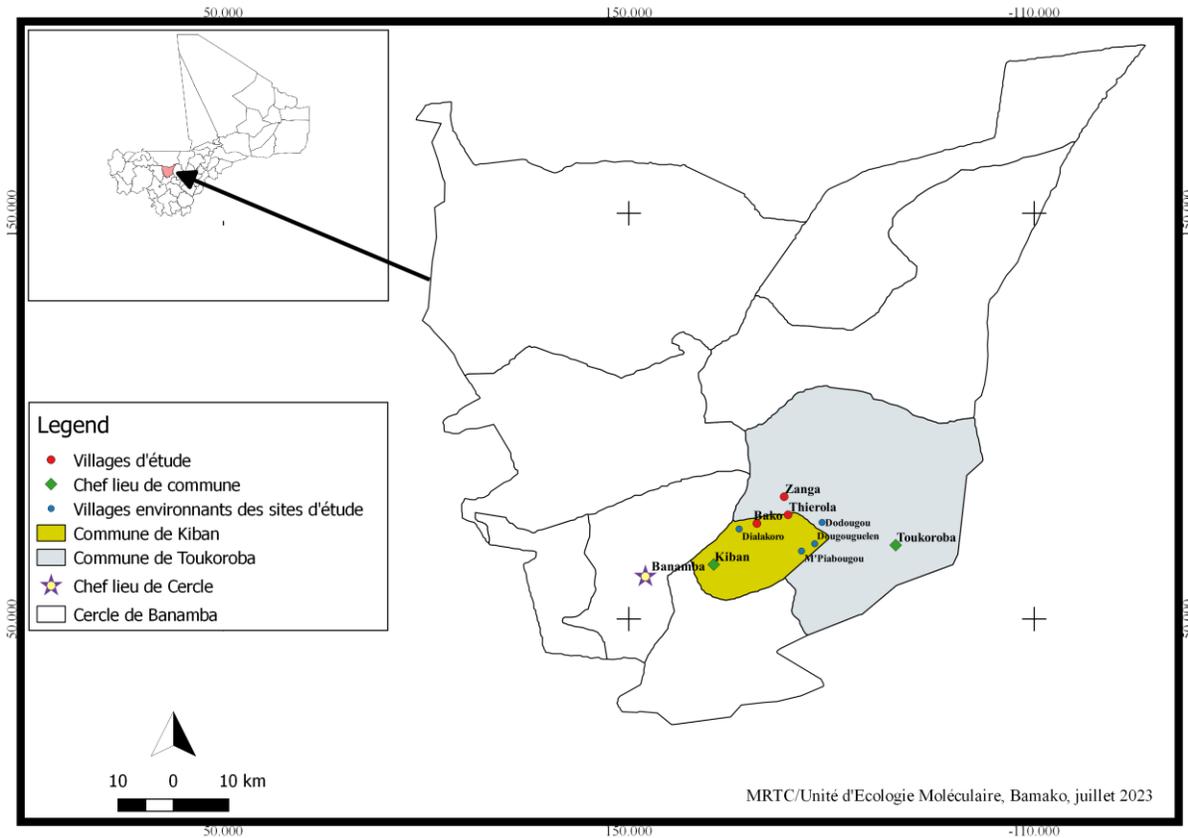


Figure 5 : carte du cercle de Banamba avec les villages de MLR et environnants.

4.2. Caractéristiques géographiques des sites d'études

4.2.1. Relief et Hydrographie des sites d'études

Dans tous ces villages, le relief est composé de vastes plaines avec des sommets ne dépassant guère les 200 m.

Dans ces villages il n'existe pas de cours d'eau permanents et les mares qui se forment en saison des pluies tarissent avant le mois de décembre. Mais seule une mare présentement aménagée à Bako persiste souvent jusqu'au mois de mai. Ces mares avec certains lieux de retenu d'eau très temporaires, constituent des gîtes larvaires pour les *Culicidae*.

4.2.2. Climat et végétation

Le climat dans ces villages est de type sahélien avec deux vents : harmattan et la mousson. Ces deux vents divisent l'année en 2 saisons : une saison des pluies et une saison sèche. La saison des pluies débute de juin à octobre avec une moyenne pluviométrique annuelle de 650 mm, mal

repartie dans le temps et l'espace et une saison sèche qui dure 7 à 8 mois comprenant une saison sèche fraîche (novembre à février) et une saison sèche chaude (mars à mai). Les moyennes thermiques oscillent entre 12 et 14°C pendant la période froide, et 35 à 43°C pendant la période chaude.

Le couvert végétal dans ces villages est typiquement sahélien, composé d'arbres et d'arbustes parmi lesquels on peut citer le Baobab (*Sterculia setigera*), *Saba senegalensis*, *Guera senegalensis*, *Kaya senegalensis* (caïlcédrat), *Vitellaria paradoxa* (karité) etc., et d'une strate herbacée composée en saison humide de hautes herbes estompant le relief. Ce sont essentiellement *Andropogon pseudo-pericus*, *Andropogon gayanus*, *Hygrophila- senegalensis* etc. De nos jours, cette végétation est fortement affectée par les actions anthropiques (coupe abusive de bois pour usage domestique ou commercial).

4.2.3. Faune

La faune est constituée de reptiles de quelques petits mammifères (lièvres, écureuils, etc..) et beaucoup d'espèces d'oiseaux. A côté de ceci, on y trouve quelques espèces d'insectes d'importance médicale comme les Culicidae (Anopheles, Culex, Aedes), les Muscidae (*Musca domestica*), les Psychodidae (*Phlebotomus*)...

4.2.4. Activités économiques

Elles sont essentiellement basées sur l'agriculture hivernale. Les cultures portent essentiellement sur le mil, le sorgho, le maïs, le sésame, le haricot, l'arachide, etc... Les produits de cueillettes sont les fruits de Baobab, les noix de karité.

Dans ces trois dernières années, le maraîchage se développe dans ces villages avec l'appui de certaines organisations non gouvernementales. Ce maraichage effectué principalement par les femmes produit des légumes (tomate, aubergine, oignon, gombo, choux, concombre, piment...).

L'élevage constitue une activité secondaire dans tous ces sept villages. On y élève des bovins, des caprins, des ovins et de la volaille.

4.3. Collecte des données

Ce travail a commencé par la recherche et l'obtention du consentement communautaire de la chefferie locale. Nous avons procédé à un recensement exhaustif des cases dans chacun des villages. Après recensement, un numéro d'identification a été attribué à chacune des cases de chacune des concessions de chaque village d'étude.

Dans les villages de MLR, en fonction du regroupement des familles regroupés en agglomérations, chaque village était divisé en deux ou trois strates ou zones :

- Thierola : centre du village et hameau
- Bako : centre du village et hameau
- Zanga : Est du village, Ouest du village et hameau

4.3.1. Capture des moustiques

Les moustiques étaient capturés à l'aide d'aspirateur à bouche par des collecteurs locaux formés dans chaque village. Les collectes de moustiques avaient lieu dans 80 à 90% des cases au cours de chaque séance de captures. Ces collectes avaient lieu chaque trois jours dans tous les villages MLR entre 8 heures et 11 heures du matin. Dans les villages de recapture, les collectes avaient lieu une fois toutes les deux semaines dans 60 à 100% des cases en fonction la taille de chaque village.

Les moustiques capturés étaient gardés dans de petits pots en carton de couleur noire recouverts de tulle moustiquaire pour ceux collectés dans les villages de MLR portant le numéro d'identification de la case où a lieu la capture. Les pots et tulle noirs étaient utilisés pour faciliter la détection des moustiques marqués avec la lumière UV. Avant chaque séance de marquage, les moustiques étaient identifiés et dénombrés en lots de 20 moustiques par pots de pulvérisation. Seul *An. gambiae s.l* était utilisé pour cette expérience de marquage lâcher et recapture. Chaque zone avait sa couleur spécifique.

4.3.2. Marquage des moustiques

4.3.2.1. Description de la méthode de marquage

Pour le marquage, nous avons utilisé la nouvelle technique de marquage des moustiques décrite par (Faiman R et al. 2021) Cette méthode moins couteuse, non toxique pour les moustiques, utilise

une combinaison de liquide fluorescent (SmartWater®) d'ADN synthétiques. Ce liquide fluorescent est formé de deux composants :

- (a) Une solution fluorescente non toxique à base d'eau qui détermine la couleur de marquage. Cette couleur peut être une des couleurs de base (bleu, rouge, vert ou Cartax (Jaune-Vert) ; ...
- (b) Une émulsion polymère non toxique à base d'eau utilisée pour lier la fluorescence au substrat marqué.

Les couleurs fluorescentes sont invisibles à l'œil nu mais facilement détectables à l'aide d'une torche à UV (365 nm). Les moustiques recapturés sont clairement identifiables et la couleur fluorescente ainsi que l'ADN restent presque permanemment avec le moustique marqué.



Figure 6 : photos montrant une séance de marquage des moustiques à Thierola

4.3.2.2. Procédure expérimentale de marquage des moustiques

4.3.2.2.1. Préparation de la solution de marquage

Chaque solution de marquage était spécifique à un village et où à un secteur du village. Chaque solution de marquage contenait :

- La couleur fluorescente dédiée à une zone dans chaque village,
- L'ADN de localisation (qui ne varie pas et est propre à chaque zone),
- L'ADN du jour (pour toutes les zones du village).

Le volume de la solution de marquage préparée était fonction du nombre de moustiques disponible pour le marquage. Le protocole de préparation des solutions de marquage est en annexe (page 51).

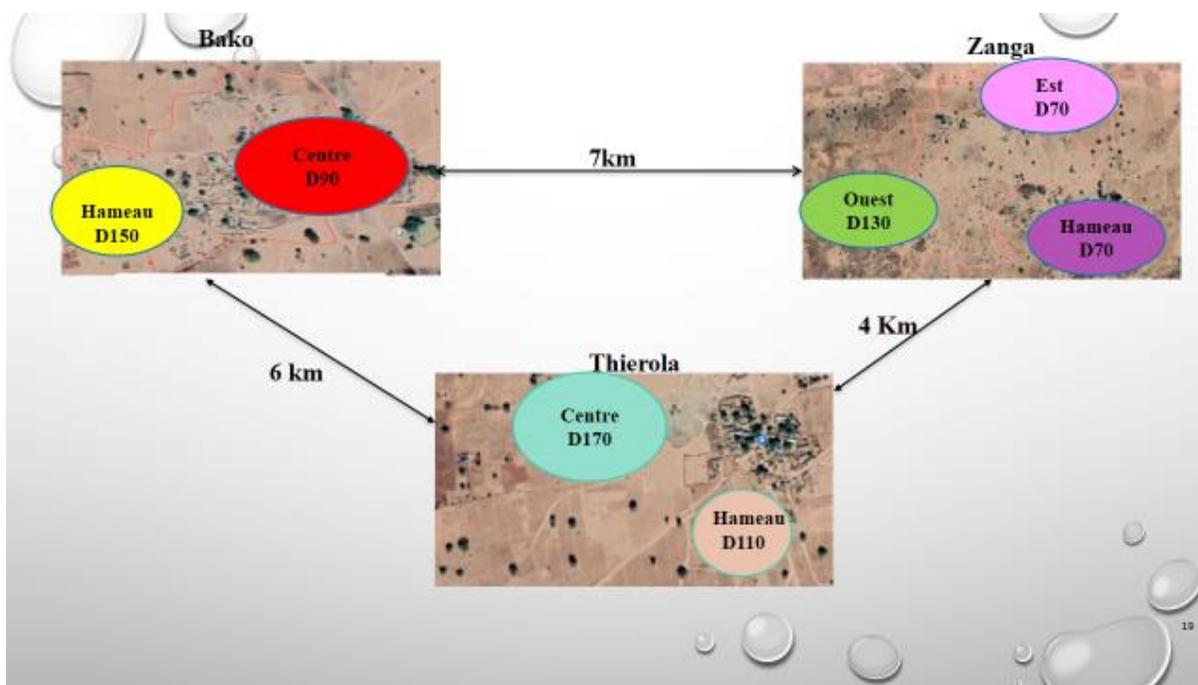


Figure 7: carte schématique montrant les différentes zones avec les différentes couleurs et ADN attribuées dans les trois villages de marquage

4.3.2.2.2. Pulvérisation ou marquage des moustiques

Cette pulvérisation consistait à faire adhérer la fluorescence aux différentes parties du corps des moustiques à l'aide d'un compresseur aérographe de 1/5 cheval-vapeur (modèle TC-20-H6-B, aérographe principal) préréglé à une pression de 1,5 bar. Une solution de 2 ml contenant le liquide fluorescent et les ADN était préparée. Cette solution était portée au vortex à 2 000 tours / mn pendant 30 secondes pour assurer un mélange uniforme des composants. La solution est ensuite versée dans la capsule d'un ensemble de nébuliseurs (modèle NEB KIT 500) qui est composé en plus de la capsule (réservoir de solution pulvérisée), d'un connecteur en « T » (bouché avec du coton à une extrémité), d'un tube d'air flexible et d'un tube d'alimentation en air. Cet ensemble est connecté au compresseur aérographe. Un entonnoir de 10 cm de diamètre est fixé à son extrémité étroite au tube d'air flexible pour permettre une distribution uniforme de la solution pulvérisée.

Quand le compresseur est mis en marche, le mélange de solution est aspergé sous forme de vapeur sur les moustiques contenus dans le pot recouvert de tulle moustiquaire pendant 5-6 secondes. Après la pulvérisation, les moustiques restent dans les pots au moins 2 heures de temps pour

permettre leur séchage complet avant leur lâcher. Mais, déjà 15 mn après pulvérisation, La mobilité totale était retrouvée avec une certaine mortalité détectée.



A: solution de fluorescence.

Figure 8: photos montrant un composant du smart water

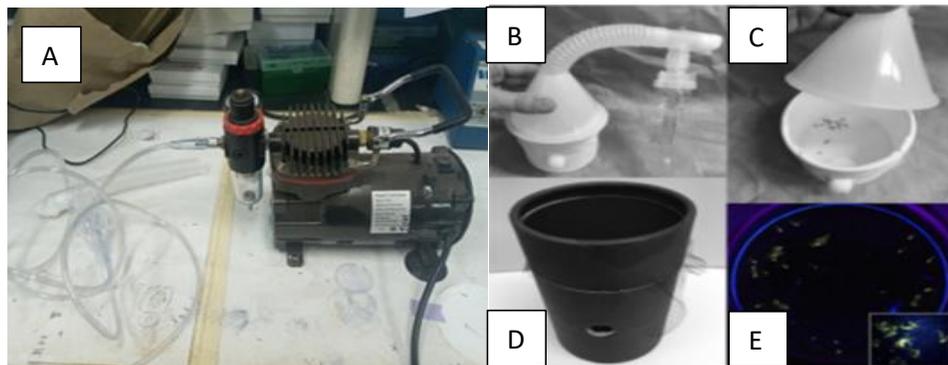


Figure 9: photos de la pompe et d'autres matériels de spray (Faiman R et al. 2021)

A : Pompe et câbles, B : nébuliseur et cône d'entonnoir sur une coupelle de pulvérisation, C : Entonnoir suspendu sur une coupelle avec des moustiques, D : Gobelet de détection en papier noir E : moustiques marqués sous lampe UV.

4.4. Lâcher des moustiques

Au niveau de chaque village, des lieux de lâcher étaient identifiés à l'avance (la concession qui se trouve être au milieu de la zone). Les moustiques remis du stress de la pulvérisation sont relâchés le soir après le coucher du soleil à l'extérieur où sous un hangar. Les moustiques morts ou

moribonds restés au fond des pots, étaient dénombrés et conservés individuellement dans des tubes de 0.5 ml contenant du silicagel. Cette étude a permis de réaliser 35 séances de lâcher dans les villages de Bako, Thierola et Zanga.



Figure 9 : photo montrant le lâcher des moustiques marqués

4.5. Recapture des moustiques

Dans les villages de MLR, une autre séance de collecte des moustiques (comme décrite ci-dessus) intervenait le troisième jour du lâcher. Dans les villages voisins (contrôles), les collectes étaient effectuées deux semaines après chaque séance de lâcher.

4.6. Saisie et analyse des données

Les données ont été collectées sur des fiches de report de cas (CRF) puis saisies dans Microsoft Excel 2013. Les analyses ont été effectuées dans le logiciel GraphPad Prism® 9.

Le taux de recapture a été défini comme la proportion de moustiques recapturés sur le nombre total de moustiques lâchés était mesuré. Le test de khi carré a été utilisé pour la comparaison des taux de recapture. La distance parcourue par le moustique a été estimée par rapport au point de lâcher et le point de recapture.

4.7. Considération éthique

Ce protocole de recherche fruit de la collaboration USTTB-NIH a obtenu l'approbation du comité d'éthique de la faculté de médecine et d'odontostomatologie sous le N° 2019/82/CE/FMPOS. Les consentements communautaires et individuels de tous les participants ont été obtenus. Toute la période de l'étude, les aspects éthiques ci-après ont été respectés : La collaboration de chaque villageois(e) était libre et volontaire ; L'accès aux cases pour les captures de moustiques était conditionné à l'avis favorable du chef de famille et du propriétaire de la case. Les guides et les collecteurs étaient des jeunes des différents villages bien connus et choisis par les différents chefs de famille de tous ces villages.

5. RESULTATS

5.1. Résultats globaux

Sur un total de 42854 moustiques marqués au cours de cette étude, nous avons recapturé 643 moustiques dans les villages de lâcher et 2 moustiques dans les villages environnants. La proportion de femelles lâchée (59,3%) était supérieure à celle des mâles (40,7%) au cours de la période d'étude. A Bako durant les différents mois de l'étude le taux de recaptures femelles était élevé (77%). Le plus grand taux de recapture a été observé à Thierola (1,7%), malgré que nous avons lâché plus de moustiques dans le village de Bako (17931).

Tableau 1: nombre d'*Anopheles* marqués et lâchés à Bako, Thierola et Zanga d'août à décembre 2021

Villages	Bako			Thierola			Zanga			Total		
	Marqués	Non lâchés*	Lâchés	Marqués	Non lâchés*	Lâchés	Marqués	Non lâchés*	Lâchés	Marqués	Non lâchés*	Lâchés
Août	3222	16	3206	5424	46	5378	2639	28	2611	11285	90	11195
Septembre	7617	108	7509	8219	65	8154	4140	33	4107	19976	206	19770
Octobre	5013	87	4926	1853	27	1826	1412	14	1398	8278	128	8150
Novembre	2239	37	2202	474	11	463	514	4	510	3227	52	3175
Décembre	88	0	88	–	–	–	–	–	–	–	–	88
Total	18179	248	17931	15970	149	15821	8705	79	8626	42854	476	42378

Non lâchés = Moustiques morts ou moribonds retirés au moment du lâcher*

Le tableau 1 ci-dessus nous montre qu'à Bako un plus grand nombre de moustiques lâchés a été observé. Par ailleurs au mois de septembre dans les trois villages un plus grand nombre de moustiques a été lâché.

Tableau 2: fréquences d'*An gambiae* s.l lâché par sexe à Bako, Thierola et Zanga d'août à décembre 2021

Villages	Bako			Thierola			Zanga		
	Nombre lâché	M%	F%	Nombre lâché	M%	F%	Nombre lâché	M%	F%
Août	3206	36,4	63,6	5378	43,7	56,3	2611	42,1	57,9
Septembre	7509	36,2	63,8	8154	47,1	52,9	4107	43	57
Octobre	4926	33,6	66,4	1826	40,8	59,2	1398	45	55
Novembre	2202	30,6	69,4	463	25,9	74,1	510	39,6	60,4
Décembre	88	18,2	81,8	–	–	–	–	–	–
Total	17931	34,7	65,3	15821	44,6	55,4	8626	42,9	57,1

M = mâles ; F = femelles

- Il faut noter qu'il n'y a pas eu de séances de lâcher en décembre, à part une seule séance à Bako. Ce tableau montre que les fréquences des femelles lâchées étaient plus élevées que celles des mâles dans tous les trois villages et pendant les différents mois.

Tableau 3: fréquences d'*An gambiae* s.l lâché dans les différentes zones d'août à décembre 2021 dans les trois villages de lâcher

Villages	Bako			Thierola			Zanga			
	Effectifs	Centre (%)	Hameau (%)	Effectifs	Centre (%)	Hameau (%)	Effectifs	Est (%)	Ouest (%)	Hameau (%)
Août	3206	89,5	10,5	5378	82,5	17,5	2611	52,0	27,2	20,9
Septembre	7509	94,0	6,0	8154	86,7	13,3	4107	61,5	20,0	18,5
Octobre	4926	94,3	5,7	1826	80,2	19,8	1398	59,8	19,0	21,2
Novembre	2202	93,1	6,9	463	76,9	23,1	510	47,5	23,3	29,2
Décembre	88	88,6	11,4	–	–	–	–	–	–	–
Total	17931	93,1	6,9	15821	84,2	15,8	8626	57,5	22,2	20,3

A travers ce tableau, nous observons que dans les trois villages, les fréquences de moustiques lâchés étaient beaucoup plus élevées dans les zones « centre » que dans les hameaux à Bako et Thierola. Cette tendance est observée pendant tous les mois. A Zanga il y'a eu plus de moustiques lâchés dans la zone Est que dans les deux autres zones.

5.2. Taux de recapture

Tableau 4: taux de recapture d'*An gambiae* s.l pendant les différents mois dans les trois villages de lâcher

Villages	Bako			Thierola			Zanga		
	Nombre lâché	Nombre recapturé	Taux de recapture (%)	Nombre lâché	Nombre recapturé	Taux de recapture (%)	Nombre lâché	Nombre recapturé	Taux de recapture (%)
Août	3206	3	0,1	5378	52	1,0	2611	11	0,4
Septembre	7509	65	0,9	8154	167	2,0	4107	50	1,2
Octobre	4926	129	2,6	1826	57	3,1	1398	33	2,4
Novembre	2202	68	3,1	463	3	0,6	510	5	1,0
Décembre	88	0	0,0	–	–	–	–	–	–
Total	17931	265	1,5	15821	279	1,8	8626	99	1,1

Ce tableau révèle que dans les trois villages, le taux de recapture le plus élevé a été observé au mois de novembre à Bako et en octobre dans les villages de Thierola et de Zanga.

Tableau 5: fréquences des femelles d'*An.gambiae* s.l recapturées dans les trois villages de lâcher d’août à décembre 2021

Villages	Bako			Thierola			Zanga		
	Total recapture	Nombre de femelles	Taux de recapture (%)	Total recapture	Nombre de femelles	Taux de recapture (%)	Total recapture	Nombre de femelles	Taux de recapture (%)
Août	3	2	66,7	52	17	32,7	11	4	36,4
Septembre	65	47	72,3	167	76	45,5	50	19	38,0
Octobre	129	107	82,9	57	31	54,4	33	10	30,3
Novembre	68	48	70,6	3	3	100,0	5	0	0,0
Décembre	0	0	0,0	–	–	–	–	–	–
Total	265	204	77,0	279	127	45,5	99	33	33,3

Les fréquences des femelles recapturées étaient plus élevées à Bako durant tous les mois. En revanche, à Thierola, ces fréquences étaient plus élevées seulement pendant les mois d’octobre et novembre. Les plus faibles fréquences des femelles recapturées étaient observées à Zanga pendant toute la période d’étude

Tableau 6: taux de recapture d'*An. gambiae* s.l dans les trois villages de lâcher

Villages	Effectif	Recaptures	Taux de recapture	95 % IC
Bako	17931	265	1,4	[1,29-1,64]
Thierola	15821	279	1,7	[1,54-1,95]
Zanga	8626	99	1,1	[0,93-1,38]

Ce tableau ci-dessus révèle que de façon globale (zones et tous mois confondus), le taux de recapture le plus élevé a été observé à Thierola et le plus faible à Zanga. Il n'y avait pas de différence significative entre le taux de recapture de Bako et celui de Thierola et Zanga. Les taux de recaptures des villages de Zanga et Thierola différaient de façon significative.

Tableau 7: taux de recapture d'*An gambiae* s.l dans les différentes zones au niveau des trois villages de lâcher

Villages	Zones	Recaptures	Effectifs	Taux de recapture	95% IC
Bako	Centre	263	16701	1,6	[1,38-1,75]
	Hameau	2	1230	0,2	[0,03-0,59]
Thierola	Centre	244	13325	1,8	[1,59-2,04]
	Hameau	35	2496	1,4	[1,00-1,92]
Zanga	Est	57	4961	1,1	[0,88-1,47]
	Ouest	25	1916	1,3	[0,87-1,89]
	Hameau	17	1749	1	[0,60-1,54]

Il ressort de ce tableau qu'à Bako et à Thierola, les taux de recapture étaient plus élevés dans le centre (respectivement 1,6 et 1,8%) qu'au hameau (respectivement 0,2 et 1,4%). Même si cette différence était significative entre les taux de recaptures des deux zones de Bako, il n'y avait pas de différence significative entre les taux de recaptures des deux zones de Thierola. A Zanga cette différence n'était pas aussi significative entre les taux de recaptures des trois zones.

5.3. Dispersion des moustiques à l'intérieur du même village.

La dispersion des moustiques à l'intérieur d'un village a été évaluée comme la proportion de moustiques recapturés des différentes zones parmi l'ensemble des moustiques recapturés d'une zone donnée.

- Dans le village de Bako

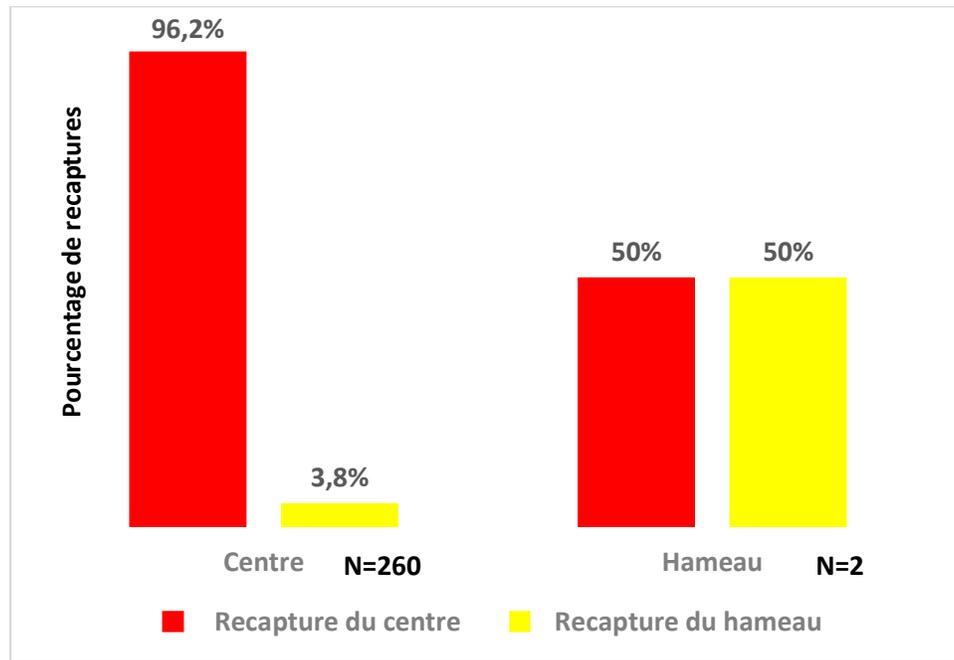


Figure 10: proportion des moustiques recapturés dans les deux zones à Bako

Au regard de cette figure ci-dessus, sur les 260 moustiques recapturés au centre de Bako, 3,8% étaient des moustiques lâchés au hameau. Sur les deux moustiques recapturés au hameau, un venait du centre de Bako.

- Dans le village de Thierola

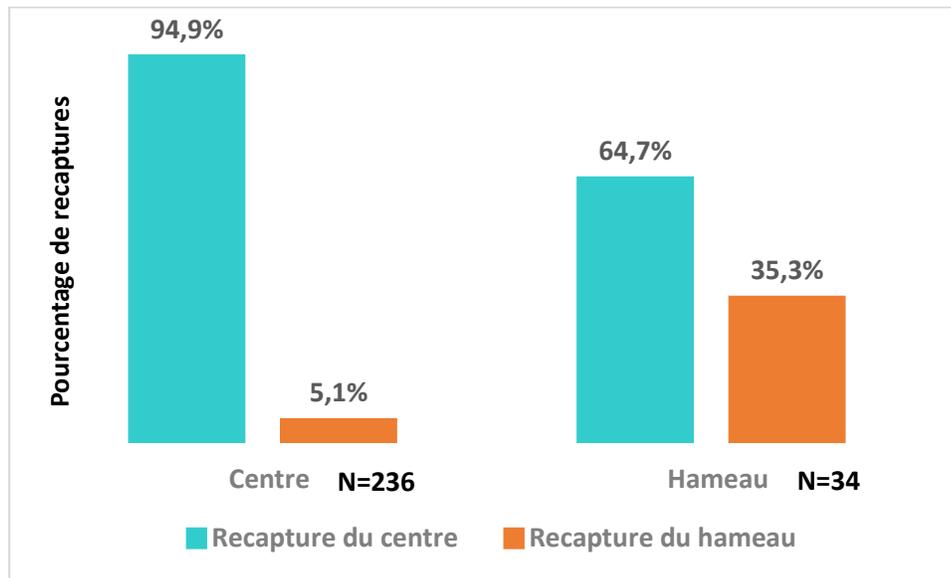


Figure 11: proportion des moustiques recapturés dans les deux zones à Thierola

Cette figure montre que parmi les moustiques recapturés au centre de Thierola, 5,1% venaient du hameau. Sur les 34 moustiques recapturés au hameau, 64,7% étaient des moustiques provenant du centre de Thierola.

- Dans le village de Zanga

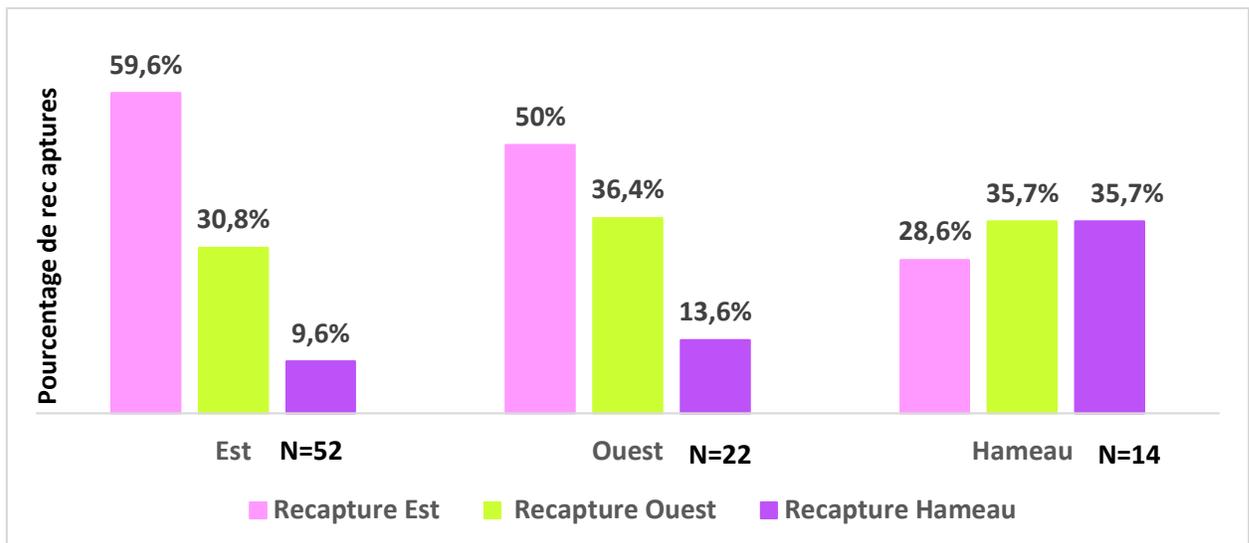


Figure 12: proportion des moustiques recapturés au niveau de chacune des zones à Zanga

Il ressort de la figure ci-dessus 30.8% des recaptures de l'ouest et 9.6% du hameau se sont retrouvés parmi les moustiques recapturés dans la zone Est à Zanga (N= 52). A l'Ouest de Zanga, les recaptures de l'Est et du hameau étaient respectivement 50 et 13.6% (N = 22). Parmi les 14 recaptures au hameau, les moustiques de l'Est et de l'Ouest étaient respectivement 28.6% et 35.7%.

5.4. Dispersion des moustiques entre les différents villages de marquage et de lâcher.

La dispersion des moustiques entre village a été évaluée comme la proportion de moustiques recapturés des différents villages parmi l'ensemble des moustiques recapturés d'un village précis.

Il faut noter que deux moustiques marqués de Bako ont été retrouvés dans des villages voisins de recapture : un à Dodougou distant de 12 km et le deuxième à Dougouguele situé à 14 km.

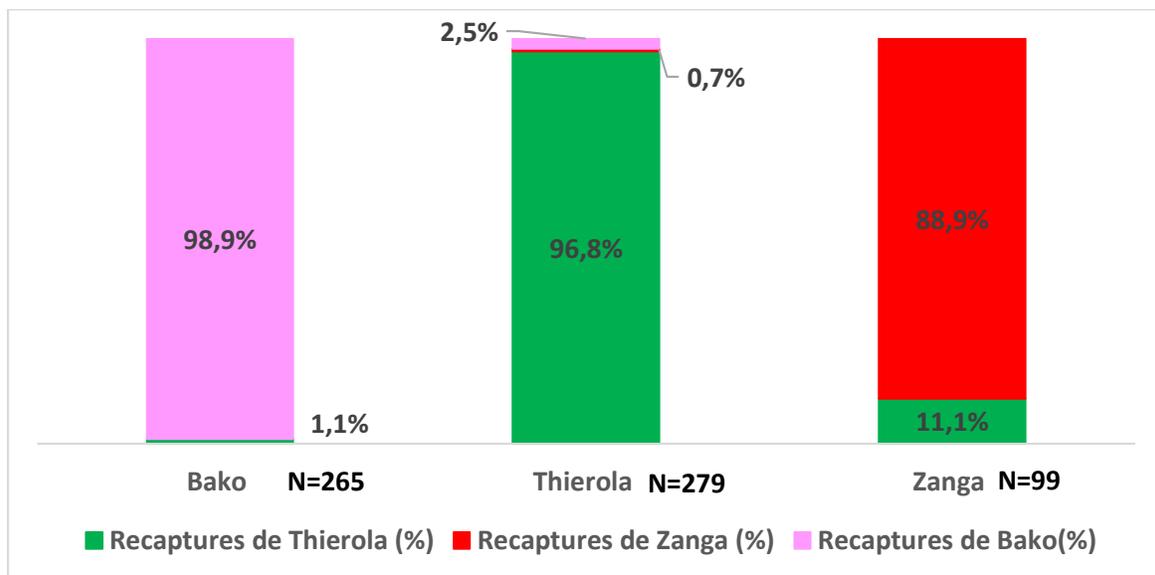


Figure 13: proportion de moustiques recapturés des différents villages retrouvés au niveau de chacun de ces trois villages (Bako, Thierola et Zanga)

Cette figure révèle que parmi les moustiques recapturés à Bako, 1,1% (N=265) étaient des moustiques relâchés à Thierola. Parmi les moustiques recapturés à Thierola 0,7% et 2,5% provenaient respectivement de Zanga et de Bako. Dans le village de Zanga, parmi les 99 moustiques recapturés 11, 1% étaient des moustiques relâchés à Thierola.

6. COMMENTAIRES ET DISCUSSION

6.1. Nombre des *Anopheles gambiae* s.l marqués et lâchés

À partir de cette technique de marquage lâcher recapture, un total de 42 378 moustiques a été lâché dans les trois villages d'août à décembre 2021. Ce résultat était supérieur à celui de (Thomson et al en 1995) en Gambie qui ont lâché 28 379 moustiques avec une méthodologie différente.

La proportion des femelles lâchées était plus élevée à Bako par rapport aux villages de Thierola et Zanga. Cela pourrait être due au nombre de moustiques collectées à Bako par rapport aux deux autres. Le plus grand nombre de lâcher a été observé au mois de septembre dans tous ces villages. Cela pourrait être dû à une plus grande disponibilité des gîtes larvaires pendant ce mois.

6.2. Taux de recapture

Le taux de recapture moyen était de 1,5% dans les trois villages (N=643) et différait de façon significative entre les villages de Thierola et de Zanga au regard de leur IC à 95%. Ce taux de recapture était comparable au taux de recapture classique (Costantini et al. 1996 ; Baber et al. 2010). Cependant malgré ce grand nombre de recaptures (645), une des limites de cette étude était de ne pas savoir si un moustique recapturé avait fait un tour dans un autre village avant d'être recapturer.

Par ailleurs, ce grand nombre de recaptures est beaucoup plus avantageux pour des études plus détaillées de dispersion et de longévité des vecteurs du paludisme et en plus, cela facilitera la compréhension de la dispersion de la maladie. L'observation d'une grande proportion de recaptures de mâles à Thierola et Zanga (54,5 et 66,7%) pourraient s'expliquer par le mode de vie des mâles *Anopheles* qui ne prennent pas de repas sanguin et aussi pas de recherche de lieu de ponte limitant ainsi leur déplacement. Par ailleurs la proportion de recaptures de femelles à Bako (77%) par rapport aux deux autres villages, pourrait s'expliquer par la présence d'une grande collection d'eau à Bako qui est presque permanente et donc favorable à la ponte des femelles.

6.3. Dispersion des moustiques au sein du même village

Les moustiques se sont déplacés d'une zone à l'autre au sein de chaque village. Cette dispersion (200 à 800 m) entre zones était beaucoup plus marquée à Zanga qu'à Thierola et à Bako. Les résultats obtenus montrent que le nombre de moustiques lâchés et la disposition (éparpillement ou regroupement) des maisons dans le village influençaient beaucoup la dispersion des moustiques dans le village.

6.4. Dispersion des moustiques entre les différents villages

Les moustiques marqués et lâchés se sont dispersés à travers les différents villages. Nous avons observé un plus grand mouvement des moustiques de Thierola vers les deux autres villages (Bako et Zanga). Parmi les moustiques recapturés à Thierola, 2,5% venaient de Bako (6 km) et 0,7% de Zanga (4 km). Un déplacement des moustiques de Zanga vers Bako et vice versa n'a pas été observé. Cela pourrait être certainement attribué à la direction du vent car pendant notre étude les vents de mousson étaient observés. La présence de gîtes larvaires pourrait aussi motiver le déplacement des femelles pour la ponte.

Deux moustiques marqués et lâchés à Bako ont été retrouvés à Dodougou (environ 12 km) et Dougouguele (14 km). Ce résultat était supérieur à ceux obtenus par (Toure et al. 1998) qui ont recapturé un moustique à 6 km du village de lâcher.

7. CONCLUSION

Conclusion : Les résultats préliminaires de cette technique de marquage-lâcher-recapture (MLR) sur le terrain, nous a permis de marquer et lâcher un nombre important de moustiques en un temps relativement court avec un nombre élevé de moustiques recapturés. Ce grand nombre de recaptures nous a permis de comprendre que la dispersion des moustiques pouvait atteindre 14 km. Ces résultats aideront à mieux comprendre l'estimation de la taille de la population des vecteurs du paludisme dans une localité donnée et le degré de dispersion de la transmission.

8. RECOMMANDATIONS

Nous recommandons :

Aux instituts et centres de recherche en entomologie

D'encourager les études de bio écologie des anophèles afin de contribuer à l'amélioration de la lutte anti vectorielle contre le paludisme.

Aux PNLP

D'être à l'écoute des chercheurs et d'améliorer le plan d'action de lutte anti vectorielle en fonction de l'avancer des recherches contre le vecteur.

9. REFERENCES

1. Baber, I., Keita, M., Sogoba, N., Konate, M., Diallo, M. B., Doumbia, S., ... & Manoukis, N. C. (2010). Population size and migration of *Anopheles gambiae* in the Bancoumana Region of Mali and their significance for efficient vector control. *PLoS One*, 5(4), e10270.
2. Bates, M. (1949). The natural history of mosquitoes. *The Natural History of Mosquitoes*.
3. Beier, J. C., Copeland, R., Oyaro, C., Masinya, A., Odago, W. O., Oduor, S., ... & Roberts, C. R. (1990). *Anopheles gambiae* complex egg-stage survival in dry soil from larval development sites in western Kenya. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 6(1), 105-109.
4. Carnevale P & Robert V (2009). Les anophèles : biologie, transmission du plasmodium et lutte antivectorielle. IRD Éditions.
5. Carter, R., Mendis, K. N., & Roberts, D. (2000). Spatial targeting of interventions against malaria. *Bulletin of the World Health Organization*, 78, 1401-1411.
6. Charlwood, J. D., & Alecrim, W. A. (1989). Capture-recapture studies with the South American malaria vector *Anopheles darlingi*, Root. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology*, 83(6), 569-576.
7. Charlwood, J. D., & Jones, M. D. R. (1980). Mating in the mosquito, *Anopheles gambiae* sl: II. Swarming behaviour. *Physiological Entomology*, 5(4), 315-320.
8. Charlwood, J. D., Pinto, J., Sousa, C. A., Ferreira, C., & Rosario, V. D. (2002). Male size does not affect mating success (of *Anopheles gambiae* in Sao Tome). *Medical and Veterinary Entomology*, 16(1), 109-111.
9. Coetzee, M., & Fontenille, D. (2004). Advances in the study of *Anopheles funestus*, a major vector of malaria in Africa. *Insect biochemistry and molecular biology*, 34(7), 599-605.
10. Coetzee, M., Hunt, R. H., Wilkerson, R., Della Torre, A., Coulibaly, M. B., & Besansky, N. J. (2013). *Anopheles coluzzii* and *Anopheles amharicus*, new members of the *Anopheles gambiae* complex. *Zootaxa*, 3619(3), 246-274.
11. Costantini, C., LI, S. G., Torre, A. D., Sagnon, N. F., Coluzzi, M., & Taylor, C. E. (1996). Density, survival, and dispersal of *Anopheles gambiae* complex mosquitoes in a West African Sudan savanna village. *Medical and veterinary entomology*, 10(3), 203-219.

12. Dao, A., Adamou, A., Yaro, A. S., Maïga, H. M., Kassogue, Y., Traoré, S. F., & Lehmann, T. (2008). Assessment of alternative mating strategies in *Anopheles gambiae*: Does mating occur indoors?. *Journal of medical entomology*, *45*(4), 643-652.
13. Diabaté, A., Dabire, R. K., Kengne, P., Brengues, C., Baldet, T., Ouari, A., ... & Lehmann, T. (2006). Mixed swarms of the molecular M and S forms of *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) in sympatric area from Burkina Faso. *Journal of medical entomology*, *43*(3), 480-483.
14. Faiman, R., Krajacich, B. J., Graber, L., Dao, A., Yaro, A. S., Yossi, O., ... & Lehmann, T. (2021). A novel fluorescence and DNA combination for versatile, long-term marking of mosquitoes. *Methods in ecology and evolution*, *12*(6), 1008-1016.
15. Fontenille, D., Cohuet, A., Awono-Ambene, P., Kengne, P., Antonio-Nkondjio, C., Wondji, C., & Simard, F. (2005). Vecteurs de paludisme: du terrain à la génétique moléculaire Recherches en Afrique. *Revue d'épidémiologie et de santé publique*, *53*(3), 283-290.
16. Harbach, R. E. (2004). The classification of genus *Anopheles* (Diptera: Culicidae): a working hypothesis of phylogenetic relationships. *Bulletin of entomological research*, *94*(6), 537-553.
17. Katile, A., Sagara, I., Cissoko, M., Bationo, C. S., Dolo, M., Thera, I., Traore, S., Kone, M., Dembele, P., Bocoum, D., Sidibe, I., Simaga, I., Sissoko, M. S., Landier, J., & Gaudart, J. (2022). Spatio-Temporal Variability of Malaria Incidence in the Health District of Kati, Mali, 2015-2019. *International journal of environmental research and public health*, *19*(21), 14361.
18. Lehmann, T., Dao, A., Yaro, A. S., Adamou, A., Kassogue, Y., Diallo, M., ... & Coscaron-Arias, C. (2010). Aestivation of the African malaria mosquito, *Anopheles gambiae* in the Sahel. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, *83*(3), 601.
19. Meek, P. D., Jenkins, D. J., Morris, B., Ardler, A. J., & Hawksby, R. J. (1995). Use of two humane leg-hold traps for catching pest species. *Wildlife Research*, *22*(6), 733-739.
20. Mouchet, J. (2004). *Biodiversité du paludisme dans le monde*. John Libbey Eurotext.
21. Müller, G., & Schlein, Y. (2005). Plant tissues: the frugal diet of mosquitoes in adverse conditions. *Medical and veterinary entomology*, *19*(4), 413-422.

22. Onyabe, D. Y., & Roitberg, B. D. (1997). The effect of conspecifics on oviposition site selection and oviposition behaviour in *Aedes togoi* (Theobold) (Diptera: Culicidae). *The Canadian Entomologist*, 129(6), 1173-1176.
23. Quraishi, M. S. (1965). Swarming, mating, and density in nature of *Anopheles stephensi mysorensis*. *Journal of Economic Entomology*, 58(5), 821-824.
24. Robert K (2008). Mise en évidence de l'alimentation sucrée chez les vecteurs du paludisme dans deux localités de l'ouest du Burkina Faso. DEA
25. Service, M. W. (1997). Mosquito (Diptera: Culicidae) dispersal—the long and short of it. *Journal of medical entomology*, 34(6), 579-588.
26. Singh, B., Sung, L. K., Matusop, A., Radhakrishnan, A., Shamsul, S. S., Cox-Singh, J., ... & Conway, D. J. (2004). A large focus of naturally acquired *Plasmodium knowlesi* infections in human beings. *The Lancet*, 363(9414), 1017-1024.
27. Stone, C. M., Taylor, R. M., Roitberg, B. D., & Foster, W. A. (2009). Sugar deprivation reduces insemination of *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae), despite daily recruitment of adults, and predicts decline in model populations. *Journal of medical entomology*, 46(6), 1327-1337.
28. Sullivan, R. T. (1981). Insect swarming and mating. *The Florida Entomologist*, 64(1), 44-65.
29. Sumba, L. A., Guda, T. O., Deng, A. L., Hassanali, A., Beier, J. C., & Knols, B. G. (2004). Mediation of oviposition site selection in the African malaria mosquito *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) by semiochemicals of microbial origin. *International Journal of Tropical Insect Science*, 24(3), 260-265.
30. Système Local D'information Sanitaire (SLIS.2020).
31. Takken, W., Charlwood, J. D., Billingsley, P. F., & Gort, G. (1998). Dispersal and survival of *Anopheles funestus* and *A. gambiae* sl (Diptera: Culicidae) during the rainy season in southeast Tanzania. *Bulletin of entomological research*, 88(5), 561-566.
32. Thomson, M. C., Connor, S. J., Quinones, M. L., Jawara, M., Todd, J., & Greenwood, B. M. (1995). Movement of *Anopheles gambiae* sl malaria vectors between villages in The Gambia. *Medical and veterinary entomology*, 9(4), 413-419.
33. Touré Y. T. (1979) Bio écologie des anophèles (Diptera, Culicidae) dans une zone rurale de savane soudanienne au Mali (village de Banambani). Incidence sur la transmission du

paludisme et de la filariose de bancroft. Thèse de 3eme cycle, centre pédagogique supérieur, Bamako, Mali.

34. Touré Yéya. 1979. Bio-écologie des anophèles (DIPTERA-CULICIDEA) dans une zone rurale de savane soudanienne au Mali ; Incidence sur la transmission du paludisme et de la filariose de Bancroft (Village de Banambani, arrondissement de Kati). Centre Pédagogique Supérieur de Bamako, thèse de 3e cycle Entomologie, Bamako, Mali.
35. Touré, Y. T., Dolo, G., Petrarca, V., DAO, A., CARNAHAN, J., & TAYLOR, C. E. (1998). Mark–release–recapture experiments with *Anopheles gambiae* sl in Banambani Village, Mali, to determine population size and structure. *Medical and veterinary entomology*, 12(1), 74-83.
36. Wilkes, T. J., Matola, Y. G., & Charlwood, J. D. (1996). *Anopheles rivulorum*, a vector of human malaria in Africa. *Medical and veterinary entomology*, 10(1), 108-110.
37. World Health Organization. (2022). *World malaria report 2022*. World Health Organization.

FICHE SIGNALÉTIQUE

Nom : Traore

Prénom : Mamadou

Tel : (00 223) 73 77 53 75 / 66 05 73 01

Email : madou.traore@icermali.org

Titre : Etude de la dispersion d'*An gambiae* sensu lato dans trois villages et leurs environnants en zone sahélienne par marquage lâcher et recapture.

Année de soutenance : 2023

Ville de soutenance : Bamako.

Pays d'origine : Mali

Lieu de dépôt : Bibliothèque de la Faculté de Médecine et d'Odonto-Stomatologie et de la Faculté de Pharmacie

Secteur d'intérêt : Entomologie et Parasitologie.

Résumé

Les expériences de Marquage-Lâcher-Recapture (MLR) sont des méthodes très utilisées pour les études de dispersion et de longévité des insectes dans des conditions de terrain. La plupart des études MLR sur la dispersion des moustiques ont été menées dans un seul village et dans une zone à moins de 2 km entre le site de capture et de lâcher le plus éloigné. En raison de certaines contraintes logistiques (ressources humaines, coût financier, limite des techniques de marquage...) la zone de recapture restait limitée.

Ainsi, pour évaluer la dispersion d'*An. gambiae* s.l. à grande échelle, nous avons utilisé une nouvelle méthode de marquage combinant les marqueurs d'ADN synthétiques avec un colorant fluorescent pour marquer un nombre important de moustiques dans trois villages focaux et dans quatre villages contrôles d'août à décembre 2021 en zone sahélienne. Les moustiques collectés ont été marqués avec des combinaisons uniques de couleur/marqueurs d'ADN, identifiant leur site, puis relâchés. Chaque trois jours, des moustiques ont été capturés dans les différentes cases de

chacun des villages focaux, marqués et relâchés avec des combinaisons de couleur/marqueur uniques d'ADN, identifiant le site de lâcher et la date de lâcher. Dans les quatre villages contrôles les moustiques n'étaient capturés et examinés que tous les 14 jours après lâcher.

Sur un total de 42378 moustiques relâchés, 645 ont été recapturés (1,5 %) ce qui est beaucoup plus élevé compte tenu de la capture de chaque 3 jours. La quasi-totalité (95%) des moustiques recapturés l'ont été dans les villages de lâcher. Par contre (5%) des recaptures ont été dans des villages voisins à 4-6 km. Deux moustiques recapturés ont été trouvés dans les villages témoins (12 et 14 km) plus loin.

Ces résultats révèlent que la capacité vectorielle des moustiques africains responsables du paludisme est encore plus élevée que ce que l'on savait auparavant.

Mots-clés : *An. gambiae* s.l, dispersion, Marquage-lâcher-recapture, ADN synthétique, colorant fluorescent.

Abstract

Mark-release-recapture (MLR) experiments are widely used methods for studying insect dispersal and longevity under field conditions. Most MLR studies of mosquito dispersal have been carried out in a single village and in an area less than 2 km between the capture site and the furthest release site. Due to certain logistical constraints (human resources, financial cost, limitations of marking techniques, etc.) the recapture area remained limited.

So, to assess the dispersal of *An. gambiae* s.l. on a large scale, we used a new marking method combining synthetic DNA markers with a fluorescent dye to mark a large number of mosquitoes in three focal villages and four control villages from August to December 2021 in the Sahelian zone. Collected mosquitoes were marked with unique color/DNA marker combinations, identifying their site, then released. Every three days, mosquitoes were captured in different huts in each of the focal villages, marked and released with unique DNA color/marker combinations, identifying the release site and release date. In the four control villages, mosquitoes were captured and examined only every 14 days after release.

Out of a total of 42378 mosquitoes released, 645 were recaptured (1.5%), which is much higher given that the mosquitoes were recaptured every 3 days. Almost all (95%) of the recaptured

mosquitoes were caught in the release villages. However, 5% were recaptured in neighbouring villages 4-6 km away. Two recaptured mosquitoes were found in control villages (12 and 14 km away).

These results reveal that the vectorial capacity of African malaria mosquitoes is even higher than previously known.

Keywords: *An. gambiae* s.l, dispersal, mark-release-recapture, synthetic DNA, fluorescent dye.

38. ANNEXES

Tableau 8: composition des différents couleurs fluorescents dans chaque village d'étude

Villages	Couleurs	Solution fluorescente utilisée			
		Rouge	Vert	Bleu	Cartax (Jaune-vert)
Thierola	Orange	x	x		
	Cyan		x	x	
Bako	Rouge	x			
	Jaune	x	x		
Zanga	Rose	x	x	x	
	Cartax				X
	Magenta	x		x	

Tableau 9: ratio des différentes solutions à utiliser pour produire ces couleurs

Couleurs	Solution fluorescente utilisée			
	Rouge	Vert	Bleu	Cartax (Jaune-vert)
Orange	1.4	0.6		
Cyan		1	1	
Rouge	x			
Jaune	0.7	1.3		
Rose	1.2	0.4	0.4	
Cartax				X
Magenta	1		1	

NB : Les couleurs Rouge et Cartax étaient initialement préparées.

Tableau 10: préparation de la solution de marquage à Bako

Bako	H20(μl)	Fluorescence(μl)	Polymère(μl)	DNA Zone	DNA jour
Rouge	1840	100	40	D90(10μl)	(10μl)
Jaune	1840	100	40	D150(10μl)	(10μl)

Tableau 11 : préparation de la solution de marquage à Thierola

Thierola	H20(μl)	Fluorescence(μl)	Polymère(μl)	DNA Zone	DNA jour
Orange	1840	100	40	D170(10μl)	(10μl)
Cyan	1840	100	40	D110(10μl)	(10μl)

Tableau 12: préparation de la solution de marquage à Zanga

Zanga	H20(μl)	Fluorescence(μl)	Polymère(μl)	DNA Zone	DNA jour
Rose	1840	100	40	D70(10μl)	(10μl)
Cartax	1944	30	6	D130(10μl)	(10μl)
Magenta	1840	100	40	D70(10μl)	(10μl)

Thierola (D110 / D170) and Zanga (D70 / D130) Calendar

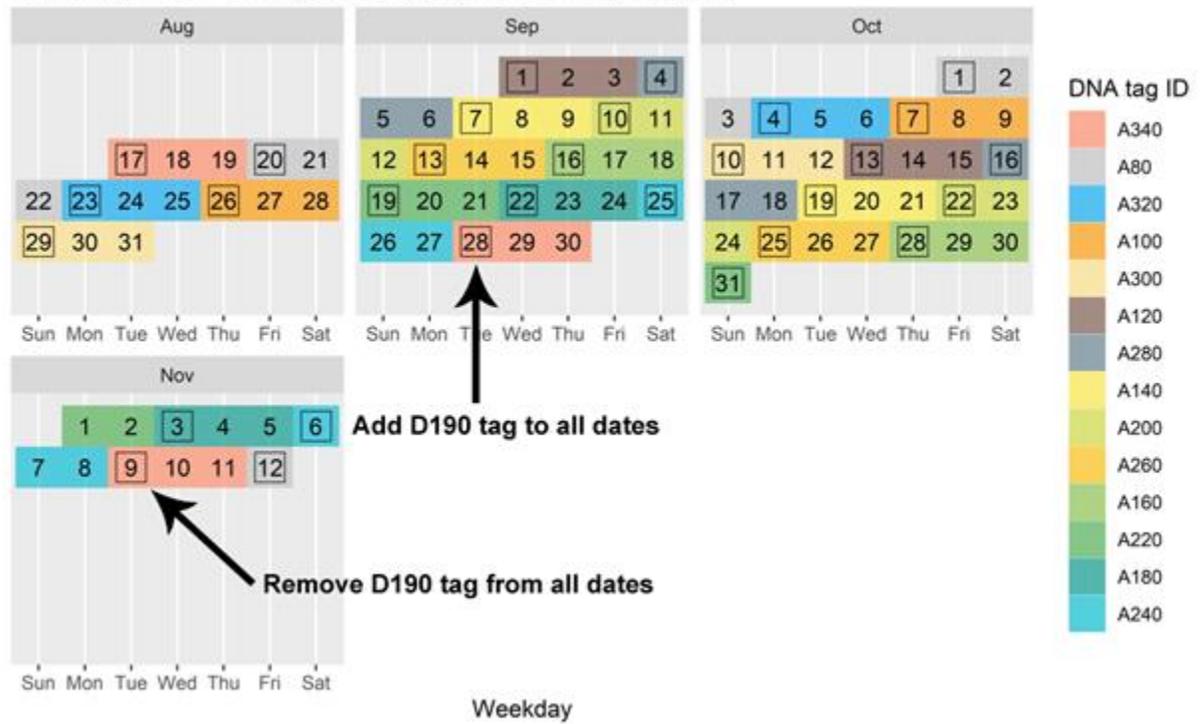


Figure 14: photo montrant un calendrier d'utilisation des ADN du jour à Thierola et Zanga

Bako (D90 / D150) Calendar

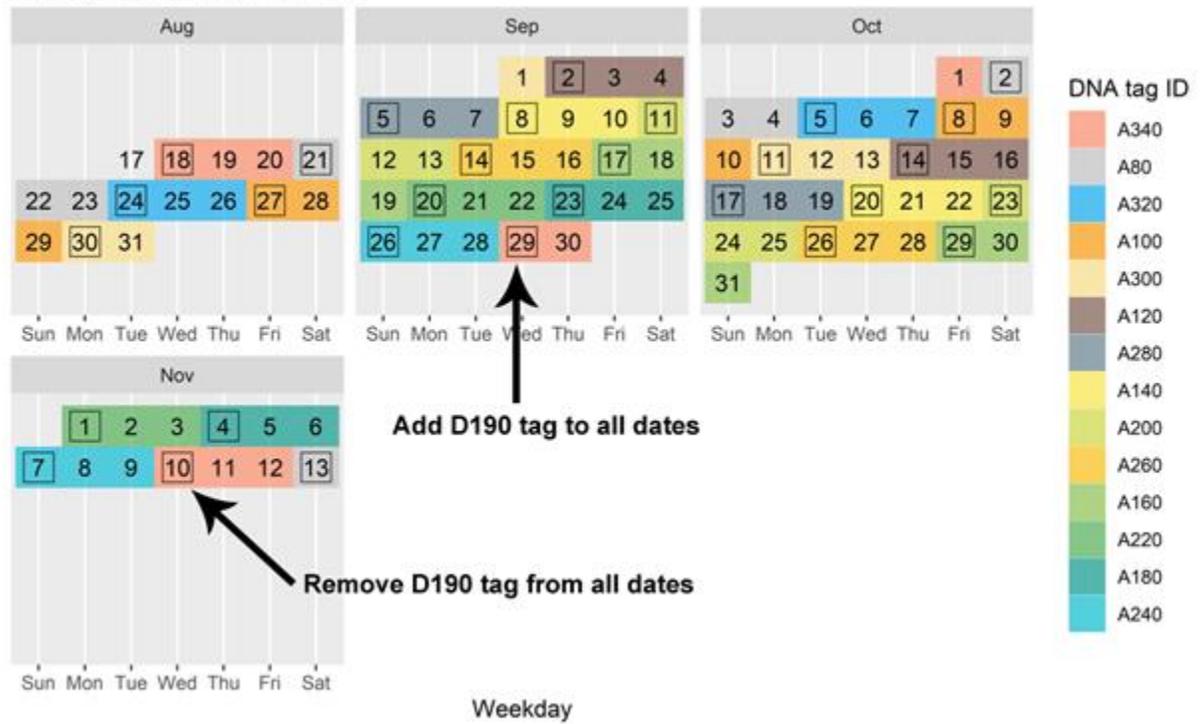


Figure 15: photo montrant un calendrier d'utilisation des ADN du jour à Bako

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des maîtres de cette faculté, de mes chers condisciples, devant
L'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Être suprême, d'être

Fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au
Dessus de mon travail ; je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma
Langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira à corrompre

Les mœurs ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de
Parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je garderai le respect absolu de la vie humaine dès la conception. Même sous la
Menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales

Contre les lois de l'humanité.

Respectueux et reconnaissant envers mes maîtres, je rendrai à leurs enfants

L'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

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

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

Je le jure.