



Global
Gateway



NaturAfrica
Afrique Centrale | Central Africa



Boîte à outils pour le suivi écologique en Afrique centrale

Union européenne — NaturAfrica Afrique centrale — COMIFAC

Manuel opérationnel

à l'usage des gestionnaires d'aires protégées

MANUEL OPÉRATIONNEL — Deuxième partie

Cinq niveaux — Neuf fiches techniques — Trois annexes opérationnelles

2026



Acronymes et abréviations

ABS	Access and Benefit-Sharing
AMCEZ	Autres Mesures de Conservation Efficace par Zones
AP	Aire protégée
APN	African Parks Network
ARU	Autonomous Recording Unit (enregistreur acoustique autonome)
AWF	African Wildlife Foundation
CBD	Convention sur la Diversité Biologique
CITES	Convention sur le commerce international des espèces menacées
CMR	Capture-Marquage-Recapture
COMIFAC	Commission des Forêts d'Afrique Centrale
CTDS	Camera Trap Distance Sampling
DwC	Darwin Core (standard de données d'observation)
eDNA	ADN environnemental (environmental DNA)
FMP	Formozov-Malyshev-Pereleshin (méthode de densité)
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
GTBAC	Groupe de Travail Biodiversité d'Afrique Centrale (de la COMIFAC)
IKA	Indice Kilométrique d'Abondance
IMET	Integrated Management Effectiveness Tool
IUCN / UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
LTDS	Linear Transect Distance Sampling
METT	Management Effectiveness Tracking Tool
ODK	Open Data Kit
PAG	Plan d'Aménagement et de Gestion
PPCD	Paysage Prioritaire pour la Conservation et le Développement

REM	Random Encounter Model
REST	Random Encounter and Staying Time model
SCR	Spatial Capture-Recapture
SDM	Species Distribution Model
SERCA	SMART-EarthRanger Conservation Alliance
SI-FFAC	Système d'Information Régional sur la Faune des Forêts d'Afrique Centrale
SIG	Système d'Information Géographique
SMART	Spatial Monitoring and Reporting Tool
SOP	Standard Operating Procedure
TdR	Termes de Référence
TEK	Traditional Ecological Knowledge
ψ (psi)	Probabilité d'occupation

Table des matières

Acronymes et abréviations	2
Avant-propos	7
PARTIE 1 – Comment utiliser ce manuel	8
1.1 Articulation avec le Rapport de mission	9
1.2 Tableau des objectifs de suivi et métriques associées	9
1.3 Arbre de décision : par où commencer ?	11
1.4 Tableau de sélection rapide	12
1.5 Sur la périodicité	12
1.6 Sur la différenciation forêt / savane	12
PARTIE 2 – Fiches Niveaux	14
Niveau 0 – Observations opportunistes géoréférencées	15
Finalité du niveau	15
Exigences minimales de mise en œuvre	16
Métriques accessibles et produits attendus	16
Niveau 1 – Photopîèges ciblés sur sites stratégiques	18
Finalité du niveau	18
Exigences minimales de mise en œuvre	19
Métriques accessibles et produits attendus	19
Niveau 2 – Suivi structuré par biome	21
Finalité du niveau	21
Exigences minimales de mise en œuvre	22
Métriques accessibles et produits attendus	23
Niveau 3 – Photopîègement standardisé sur grille d'échantillonnage	24
Finalité du niveau	24
Compétences requises de l'équipe	25
Exigences minimales de mise en œuvre	26
Produits attendus	26
Niveau 4 – Inventaires stratégiques d'abondance absolue	27
Finalité du niveau	27
Exigences générales de mise en œuvre	28
Produits attendus	29
Niveau 5 – Dispositif intégré de pointe	30
Finalité du niveau	30
Exigences générales de mise en œuvre	31
Produits attendus	31
PARTIE 3 – Fiches Techniques	33
Présentation de la Partie 3	34
Fiche 1 – SMART / EarthRanger	35
1. Principe	35
2. Objectifs et métriques	35
3. Contextes d'application	36

4. Protocole général de mise en œuvre	36
5. Avantages	36
6. Limites et précautions	37
7. Pour aller plus loin	37
Fiche 2 – Piégeage photographique	38
1. Principe	38
2. Objectifs et métriques	38
3. Contextes d'application	39
4. Protocole général opérationnel	39
5. Avantages	40
6. Limites et précautions	41
7. Pour aller plus loin	41
Fiche 3 – Grille d'échantillonnage SIG	42
1. Principe	42
2. Objectifs et métriques	42
3. Contextes d'application	42
4. Protocole général opérationnel	43
5. Avantages	43
6. Limites et précautions	44
7. Pour aller plus loin	44
Fiche 4 – Modèle d'occupation	45
1. Principe	45
2. Objectifs et métriques	45
3. Contextes d'application	46
4. Protocole général opérationnel	46
5. Avantages	46
6. Limites et précautions	47
7. Pour aller plus loin	47
Fiche 5 – Méthodes basées sur les traces (FMP)	48
1. Principe	48
2. Objectifs et métriques	48
3. Contextes d'application	49
4. Protocole général opérationnel	49
5. Avantages	50
6. Limites et précautions	50
7. Pour aller plus loin	51
Fiche 6 – Distance sampling (LTDS et CTDS)	52
1. Principe	52
2. Objectifs et métriques	52
3. Contextes d'application	52
4. Protocole général opérationnel	53
5. Avantages	54
6. Limites et précautions	54
7. Pour aller plus loin	54
Fiche 7 – Capture-Marquage-Recapture (CMR/SCR)	56
1. Principe	56
2. Objectifs et métriques	56
3. Contextes d'application	56
4. Protocole général opérationnel	57

5. Avantages	58
6. Limites et précautions	58
7. Pour aller plus loin	58
Fiche 8 – Bioacoustique passive	59
1. Principe	59
2. Objectifs et métriques	59
3. Contextes d'application	60
4. Protocole général opérationnel	60
5. Avantages	61
6. Limites et précautions	61
7. Pour aller plus loin	61
Fiche 9 – Survol aériens	63
1. Principe	63
2. Objectifs et métriques	63
3. Contextes d'application	64
4. Protocole général opérationnel	64
5. Avantages	65
6. Limites et précautions	65
7. Pour aller plus loin	65
PARTIE 4 – Gestion des données et interopérabilité	67
4.1 Pourquoi un chapitre dédié aux données ?	68
4.2 Standards de collecte et d'échange de données	68
Darwin Core (DwC)	68
Camtrap DP	68
Autres standards pertinents	69
4.3 Architecture SERCA et convergence SMART-EarthRanger	69
4.4 Archivage long terme et souveraineté des données	69
Règles pratiques d'archivage	70
Souveraineté et gouvernance	70
4.5 Partage et plateformes régionales	71
OFAC — Observatoire des Forêts d'Afrique Centrale	71
SI-FFAC — Système d'Information Régional sur la Faune des Forêts d'Afrique Centrale (projet)	71
GBIF et plateformes taxonomiques globales	71
Plateformes de pièges photographiques	72
4.6 De la donnée à la décision de gestion	72
PARTIE 5 – Annexes	73
Annexe 1 — Arbre de décision détaillé pour la sélection du niveau	74
Annexe 2 — Lexique opérationnel simplifié	76
Annexe 3 — Espèces indicatrices recommandées par biome	78
Grandes espèces emblématiques	78
Espèces de la communauté ordinaire	78
Grandes espèces emblématiques	79
Ongulés indicateurs	79
Carnivores indicateurs	80

Avant-propos

Ce manuel est le deuxième volet du cadre pour l'harmonisation du suivi écologique en Afrique centrale, élaboré dans le cadre du programme NaturAfrica en appui à la mise en œuvre du Plan de Convergence de la COMIFAC. Il fait suite au Rapport de mission (Livrable 1) qui présente le diagnostic, la démarche et les recommandations sur lesquels ce manuel s'appuie.

Le manuel est conçu comme un outil pratique directement mobilisable par les gestionnaires d'aires protégées, les organisations techniques et les agents de terrain. Il vise à fournir un cadre méthodologique harmonisé — sans prétendre à l'uniformité — pour la collecte, l'analyse et la valorisation des données de biomonitoring dans les méta-paysages des forêts du Bassin du Congo et des paysages de transhumance d'Afrique centrale.

Le cadre proposé vise à répondre aux besoins différenciés des aires protégées selon leurs capacités, leurs ressources et leurs objectifs de gestion, tout en garantissant une comparabilité régionale minimale des métriques produites.

Le manuel est structuré en cinq parties. La Partie 1 présente le cadre général et les outils d'aide à la sélection du niveau pertinent. La Partie 2 détaille les cinq fiches niveaux. La Partie 3 présente les neuf fiches techniques mobilisables. La Partie 4 traite de la gestion des données et de l'interopérabilité. La Partie 5 rassemble les annexes opérationnelles.

Ce manuel est appelé à évoluer. Les méthodes de biomonitoring progressent rapidement, notamment grâce aux avancées en intelligence artificielle, en bioacoustique et en génétique non invasive. Des révisions périodiques pourront être prévues dans le cadre du Groupe de Travail Biodiversité d'Afrique Centrale (GTBAC) de la COMIFAC.

PARTIE 1

Comment utiliser ce manuel

Cadre général, tableau des objectifs et aide à la sélection du niveau

1.1 Articulation avec le Rapport de mission

Ce manuel constitue le deuxième volet du cadre méthodologique pour l'harmonisation du suivi écologique en Afrique centrale. Conçu comme un outil pratique directement mobilisable par les gestionnaires d'aires protégées et les équipes de terrain, il peut être utilisé de manière autonome. Le Rapport de mission (Livrable 1) fournit cependant le contexte analytique, la revue documentaire et les recommandations stratégiques sur lesquels ce manuel s'appuie, ainsi que les résultats des consultations (enquête en ligne, entretiens d'experts) qui ont éclairé les choix méthodologiques retenus.

Le manuel s'inscrit dans la mise en œuvre du Plan de Convergence de la COMIFAC et dans les objectifs de l'initiative NaturAfrica.

1.2 Tableau des objectifs de suivi et métriques associées

Avant de choisir un niveau ou un outil, le gestionnaire doit clarifier ce qu'il cherche à mesurer. Le tableau ci-dessous met en correspondance les principaux objectifs de suivi, le type de résultat produit, les familles de méthodes mobilisables, et leur pertinence respective en savane, en forêt et pour la gestion opérationnelle. Il constitue la grille de lecture transversale du manuel.

Trois enseignements structurent l'usage de ce tableau :

- Les estimations absolues (densité, abondance) sont scientifiquement attractives mais opérationnellement fragiles à grande échelle. Elles sont réservées aux Niveaux 4 et 5 pour des cas ciblés (espèces phares, inventaires stratégiques quinquennaux).
- Les indices relatifs simples (IKA, taux de capture brut) sont peu coûteux mais de robustesse limitée lorsqu'ils ne contrôlent pas la détectabilité. Leur usage doit être strictement encadré.
- Les métriques d'occupation constituent le meilleur compromis entre robustesse, faisabilité et harmonisation multi-sites. Elles structurent les Niveaux 2 et 3, et forment la colonne vertébrale méthodologique du dispositif harmonisé.

Ce tableau renvoie aux fiches-techniques de la Partie 3 pour la mise en œuvre concrète de chaque méthode.

Tableau des objectifs de suivi et métriques associées

Ce tableau met en correspondance les principaux objectifs de suivi, les métriques qui leur correspondent, les familles de méthodes mobilisables, et leur pertinence respective en savane, en forêt et pour la gestion opérationnelle des aires protégées. La ligne surlignée en bleu (Probabilité d'occupation) correspond à la colonne vertébrale méthodologique du manuel : mobilisée aux Niveaux 2 et 3, elle offre le meilleur compromis entre robustesse, faisabilité terrain et harmonisation régionale.

Objectif de suivi	Type de résultat	Ce que l'on estime	Absolu / Relatif	Grandes familles de méthodes	Pertinence SAVANES	Pertinence FORÊTS	Pertinence gestion AP	Coût / faisabilité / compétences
Estimer combien d'animaux par surface	Densité	ind./km²	Absolu	Distance sampling, SCR, comptages aériens	Bonne à moyenne (visibilité, effort élevé)	Faible (déteabilité faible)	Limitée (peu soutenable)	Coût très élevé ; terrain lourd ; compétences très élevées
Estimer la taille totale d'une population	Abondance absolue	N individus	Absolu	CMR, comptages exhaustifs	Faible (hors espèces clés)	Très faible	Faible	Coût très élevé ; souvent irréaliste ; compétences très élevées
Suivre des variations sans viser l'absolu	Abondance relative	Indices d'activité	Relatif	Transects d'indices, IKA, taux de capture pièges photo	Bonne	Moyenne	Bonne (court terme)	Coût faible à moyen ; terrain faisable ; compétences faibles à moyennes
Cartographier où l'espèce est présente	Distribution brute	Présence / absence	Relatif (brut)	Inventaires, pièges photo, données opportunistes	Bonne	Moyenne	Bonne (diagnostic)	Coût faible ; terrain simple ; compétences faibles
Estimer la présence en corrigeant la non-détection	Probabilité d'occupation (ψ)	Occupation / utilisation du site	Relatif (corrige)	Occupancy (transects, pièges photo)	Très bonne	Très bonne	Excellente (harmonisation)	Coût moyen ; terrain structuré et réaliste ; compétences moyennes (stats)
Identifier les zones clés d'utilisation	Carte de distribution relative	Gradient d'occupation / activité	Relatif	Occupancy spatialisée, SDM simples	Très bonne	Très bonne	Excellente (zonage)	Coût moyen ; dépend méthode ; compétences moyennes
Suivre l'efficacité de la gestion	Indicateur de tendance	Variation temporelle	Relatif	Occupancy multi-saisons, indices répétés	Très bonne	Très bonne	Excellente (reporting)	Coût moyen ; terrain répétable ; compétences moyennes
Relier faune et pressions / gestion	Relation explicative	Effets de covariables	Relatif explicatif	Occupancy + covariables, SDM	Bonne	Bonne	Excellente (pilotage)	Coût moyen à élevé ; métadonnées requises

1.3 Arbre de décision : par où commencer ?

Le tableau ci-dessous guide le gestionnaire qui ouvre ce manuel pour la première fois. Il répond à la question : à partir de la situation actuelle de mon AP, par quel niveau dois-je commencer ? La logique est cumulative : chaque niveau suppose la mise en place préalable des niveaux inférieurs.

Question	Si	Alors
Votre AP dispose-t-elle d'un dispositif numérique de collecte (SMART, EarthRanger) sur l'ensemble du territoire ?	Non →	Démarrer par le NIVEAU 0 : déployer SMART/EarthRanger sur les patrouilles.
Disposez-vous d'au moins 5 à 10 pièges photographiques opérationnels ?	Non →	Rester en NIVEAU 0 et mobiliser des financements pour acquérir des photopièges.
Vos photopièges sont-ils déployés uniquement sur des sites stratégiques (baïs, points d'eau, passages) ?	Oui →	Vous êtes au NIVEAU 1 : renforcer le protocole et viser la richesse spécifique locale.
Disposez-vous de 30 à 60 photopièges et d'une équipe SIG/analyse dédiée ?	Oui →	Viser le NIVEAU 3 (grille systématique). Le NIVEAU 2 reste mobilisé en savane en complément.
Avez-vous un besoin institutionnel ou bailleur pour une estimation d'abondance absolue ?	Oui →	Planifier un inventaire stratégique quinquennal (NIVEAU 4) pour les espèces focales.
Votre site a-t-il vocation à tester des méthodes émergentes (bioacoustique, IA, combinaisons) ?	Oui →	Envisager le NIVEAU 5 en appui d'une collaboration scientifique externe.

Message clé

Les niveaux sont progressifs et non exclusifs. Une AP qui atteint le Niveau 3 continue de mettre en œuvre les pratiques du Niveau 0 et du Niveau 1 : les photopièges sur baïs (Niveau 1) cohabitent avec la grille systématique (Niveau 3) et les observations opportunistes (Niveau 0). Le niveau indiqué reflète l'effort méthodologique principal, pas une valeur absolue à atteindre.

1.4 Tableau de sélection rapide

Le tableau ci-dessous présente une vue synoptique des cinq niveaux de biomonitoring retenus dans ce manuel. Il peut être consulté en amont de la lecture détaillée des fiches niveaux (Partie 2).

Niv.	Approche principale	Métriques clés	Biome prioritaire	Fréquence min.
0	Observations opportunistes (SMART/EarthRanger)	Présence, distribution spatiale	Forêt & Savane	Continue
1	Photopièges ciblés sur sites clés (<10 app.)	Présence, richesse locale, activité circadienne	Forêt +++	Continue ou saisons fixes
2	Suivi structuré par biome (transects traces ou recce)	Densité min. conservatrice, tendances temporelles	Savane +++ / Forêt (adapté)	Annuelle
3	Photopiègisme sur grille (≥ 40 pièges)	Richesse, occupation, activité circadienne	Forêt +++, Savane ++	Annuelle ou biannuelle
4	Inventaires stratégiques (LTDS, CTDS, CMR, aériens)	Densité absolue, abondance focale	Tous (ciblé)	Quinquennale
5	Dispositif intégré de pointe (multi-méthodes, IA)	Indicateurs combinés, recherche appliquée	Sites pilotes	Continue + campagnes

1.5 Sur la périodicité

Trois temporalités coexistent dans un dispositif de biomonitoring opérationnel :

- **Suivi continu (Niveaux 0 et 1) :** enregistrement systématique des observations opportunistes géoréférencées et collecte ininterrompue des données des pièges photographiques sur sites clés, tout au long de l'année.
- **Suivi annuel ou biannuel (Niveaux 2 et 3) :** campagnes structurées menées dans la même fenêtre saisonnière chaque année pour assurer la comparabilité temporelle des résultats.
- **Inventaires stratégiques (Niveaux 4 et 5) :** estimations d'abondance absolue pour les espèces focales, à une fréquence quinquennale, cohérente avec la durée des plans d'aménagement et de gestion.

Ces trois temporalités s'emboîtent : les inventaires stratégiques fournissent les points de référence périodiques, que les suivis annuels viennent calibrer, et que les suivis continus viennent contextualiser au quotidien.

1.6 Sur la différenciation forêt / savane

Les méta-paysages couverts par NaturAfrica englobent à la fois les forêts denses humides du Bassin du Congo et les paysages de transhumance d'Afrique centrale. Ces deux biomes imposent des contraintes méthodologiques spécifiques : détectabilité faible en forêt dense, visibilité longue distance en savane ouverte, substrats propices ou non au relevé de traces, présence de points d'eau concentrant la faune en saison sèche, etc.

Toutes les fiches de la Partie 2 (Fiches Niveaux) comportent deux sous-sections dédiées — « Déclinaison Savane » et « Déclinaison Forêt » — décrivant les adaptations opérationnelles propres à chaque biome. Lorsqu'une fiche-outil de la Partie 3 est spécifique à un biome, cela est signalé explicitement dans son en-tête.

Message clé

Ce manuel n'est pas prescriptif. Il fournit un cadre commun de référence auquel chaque gestionnaire adapte la mise en œuvre selon les spécificités de son site. La comparabilité régionale repose sur l'harmonisation des métriques produites, pas sur l'uniformité totale des protocoles.

PARTIE 2

Fiches Niveaux

Architecture modulaire du biomonitoring en cinq niveaux progressifs

NIVEAU

0

Observations opportunistes géoréférencées*Socle minimal universel — quand l'AP dispose d'agents de terrain et d'un outil numérique de collecte***Synthèse du niveau**

Ressources financières	Très faibles — mobilise les moyens déjà alloués à la surveillance
Ressources humaines	Tout agent de terrain formé à la collecte numérique standardisée
Objectif principal	Documenter et centraliser les observations opportunistes de faune et les indices de pression anthropique
Métriques accessibles	Présence d'espèces, distribution spatiale des occurrences, phénotypes observés
Outils recommandés	SMART, EarthRanger (voir Fiche Technique 1)
Fréquence	Continue — toute l'année, lors des patrouilles et déplacements
Biomes	Forêt et Savane (universel)

Finalité du niveau

Le Niveau 0 constitue le socle minimal, commun et indispensable que tout gestionnaire d'espace naturel devrait mettre en place, quelle que soit la taille ou les moyens de l'aire protégée. Il repose sur l'enregistrement systématique d'observations opportunistes réalisées lors des activités usuelles des agents de terrain : patrouilles de surveillance, déplacements logistiques, circuits de suivi, accompagnement touristique.

Ce niveau ne constitue pas à proprement parler un dispositif de suivi écologique au sens scientifique du terme. Son rôle est de garantir qu'aucune aire protégée ne reste dépourvue d'informations structurées sur la faune présente et les activités anthropiques qui s'y déroulent. Il pose les fondations pour tous les niveaux supérieurs : sans Niveau 0 opérationnel, les niveaux suivants perdent leur ancrage dans la réalité quotidienne de l'AP.

À retenir

Les observations du Niveau 0 ne permettent pas de produire des métriques quantitatives robustes. L'effort d'échantillonnage est inconnu, la détectabilité n'est pas contrôlée, et les itinéraires des agents ne reflètent pas nécessairement l'ensemble du territoire. Même la richesse spécifique ne peut pas être évaluée de manière fiable à ce niveau. Les résultats doivent être présentés comme des indications exploratoires ou descriptives, jamais comme des tendances de population.

Déclinaison SAVANE

En savane, les observations opportunistes couvrent typiquement les indices de passage (traces, crottes, carcasses), les observations directes lors des patrouilles motorisées, les constats de conflits homme-faune (dégâts aux cultures, prédation de bétail), et les indices de pression pastorale et cynégétique.

Les points d'eau et les zones de concentration en saison sèche sont des sites privilégiés pour l'enregistrement d'observations à forte valeur informative. Les pistes carrossables servent d'itinéraires d'observation naturels et répétables, à condition d'en documenter la fréquence de parcours.

Déclinaison FORÊT

En forêt dense, les observations opportunistes portent essentiellement sur les indices de présence : crottes, nids, cris, traces, empreintes, carcasses. Les observations directes restent rares en dehors des clairières (baïs), des salines et des grandes pistes.

Les pistes forestières, les cours d'eau et les baïs constituent les sites prioritaires d'enregistrement. Les indices de braconnage (campements, douilles, pièges, lignes de piégeage) sont systématiquement géoréférencés et classés selon leur fraîcheur.

Exigences minimales de mise en œuvre

- Former l'ensemble des agents à un protocole standard d'enregistrement : quelles observations enregistrer, comment identifier, quelles variables associer ;
- Documenter systématiquement pour chaque observation : l'espèce ou l'indice, la localisation GPS, la date et l'heure, et tout attribut pertinent (âge, sexe, comportement, fraîcheur) ;
- Centraliser l'ensemble des observations dans une base numérique unique, standardisée et sécurisée (SMART, EarthRanger, ou équivalent) ;
- Organiser des déplacements réguliers sur des itinéraires variés, en évitant que les patrouilles se concentrent toujours sur les mêmes zones ;
- Sauvegarder les données dans au moins deux localisations différentes, l'une d'elles en dehors du site (protection contre le vol, l'incendie, la destruction matérielle).

Métriques accessibles et produits attendus

- Liste documentée des espèces observées sur le site (présence), avec date et localisation de la première observation ;
- Cartographie simple des occurrences de faune par espèce ;
- Liste et cartographie des indices d'activités illicites (braconnage, exploitation forestière illégale, occupation pastorale) ;

- Produits annuels : rapport de synthèse opérationnel court, cartes thématiques trimestrielles, exports vers les outils de pilotage de la gestion.

Quand passer au Niveau 1 ?

- Des ressources supplémentaires permettent l'acquisition de photopièges ;
- Des changements sont observés dans la présence de certaines espèces et nécessitent un suivi plus objectif ;
- La gestion de l'aire protégée requiert des informations plus fiables sur des sites particuliers (baïs, points d'eau, zones de conflit) ;
- Le rapportage aux bailleurs devient plus exigeant sur la documentation quantifiée de la faune.

NIVEAU

1

Photopièges ciblés sur sites stratégiques

Entrée quantitative — quand l'AP dispose de moins de dix photopièges à déployer sur des sites clés

Synthèse du niveau

Ressources financières	Faibles — acquisition et entretien de moins de dix photopièges
Ressources humaines	Quelques agents formés au déploiement et au traitement des images
Objectif principal	Documenter objectivement la présence et l'activité de la faune sur des sites à forte fréquentation
Métriques accessibles	Présence d'espèces, richesse spécifique locale, profils d'activité circadienne
Outils recommandés	Photopièges, Timelapse ou CameraBase, Eurêcam / CTAP / Mbaza AI (voir Fiches Techniques 2 et 4)
Fréquence	Continue ou saisons fixes répétées
Biomes	Forêt +++, Savane + (selon sites)

Finalité du niveau

Le Niveau 1 marque l'entrée dans un dispositif de collecte objective, basée sur un capteur autonome qui ne dépend plus de la présence humaine et qui réduit fortement les biais liés à l'observateur. Avec moins de dix photopièges, il n'est pas possible de couvrir l'ensemble de l'aire protégée selon un plan d'échantillonnage systématique. Le choix se porte donc sur des sites stratégiques, sélectionnés pour leur forte fréquentation animale attendue, dont le suivi produit des informations à haute valeur informative.

Ce niveau ne vise pas à estimer des paramètres de population à l'échelle du site. Il fournit une connaissance qualitative fiable sur les espèces présentes, leur activité, et les changements observables dans le temps. Il constitue souvent la première expérience de photopiégeage pour une équipe, et permet de développer les compétences de déploiement, de traitement et d'analyse qui seront mobilisées au Niveau 3.

À retenir

Le choix des sites de pose conditionne totalement les résultats. Un photopiège déployé sur un baï ou un point d'eau produira une liste d'espèces très différente de celle d'un photopiège sur un simple passage forestier. Les résultats du Niveau 1 ne sont pas comparables entre sites sans précaution. Les taux de capture obtenus en ce niveau ne doivent pas être interprétés comme des indices d'abondance à l'échelle de l'AP.

Déclinaison SAVANE

En savane, les photopièges sont prioritairement déployés aux points d'eau permanents (saison sèche) et saisonniers (saison humide), aux passages forcés entre zones de végétation différenciée, et sur les rares pistes marquées par la grande faune. Le mode timelapse est particulièrement utile aux points d'eau : il permet d'enregistrer automatiquement à intervalles fixes sans dépendre du déclenchement infrarouge (efficace en zone ouverte).

Espèces typiques documentées : éléphants, buffles, lions, hippotragues, phacochères, potamochères, et carnivores de moyenne taille (hyènes, servals, civettes). La détection de carnivores nocturnes constitue souvent une valeur ajoutée majeure du Niveau 1 en savane.

Déclinaison FORÊT

En forêt, les sites prioritaires de déploiement sont les baïsses, les salines, les pistes à éléphants et grands mammifères, et les grandes clairières naturelles. Le photopiégeage compense la très faible visibilité directe en forêt dense et permet de documenter la présence d'espèces discrètes ou nocturnes qui échapperaient aux observations humaines.

Espèces typiques documentées : éléphants de forêt, gorilles de plaine, chimpanzés, bongos, céphalophes de diverses espèces, potamochères, léopards. La détection de léopards sur un site est un indicateur fort de l'intégrité du paysage forestier.

Exigences minimales de mise en œuvre

- Disposer d'au moins cinq photopièges fonctionnels et d'un stock minimal de batteries et cartes mémoire de rechange ;
- Paramétrer tous les appareils de manière identique (date/heure, délai entre déclenchements, sensibilité) avant chaque campagne ;
- Documenter pour chaque site de pose : coordonnées GPS, date de pose, date de relèvement, hauteur de l'appareil, orientation, description du contexte écologique ;
- Encoder les images dans une base structurée (Timelapse, CameraBase) avec identification de l'espèce et des individus lorsque possible, traçabilité par station et par date ;
- Archiver les images originales (non traitées) dans au moins deux localisations séparées ;
- Publier un rapport annuel simple présentant les espèces documentées, les profils d'activité et les faits marquants.

Métriques accessibles et produits attendus

- Liste des espèces de mammifères documentées par site, avec date de première détection ;
- Richesse spécifique locale (par site, attention — non extrapolable à l'AP) ;

- Profils d'activité par espèce (répartition horaire des détections) — métrique particulièrement informative pour détecter une pression anthropique croissante ;
- Taux de capture (événements indépendants par 100 jours-pièges) — à interpréter uniquement pour le suivi des tendances au niveau du même site dans le temps, jamais entre sites ;
- Constitution progressive d'une photothèque de référence pour l'identification d'individus à motif naturel (léopards, certains céphalophes).

Quand passer au Niveau 2 ?

- Le gestionnaire souhaite couvrir un ensemble structuré de traits ou d'itinéraires dans une logique de suivi des tendances ;
- Des indicateurs quantitatifs explicites sont attendus à l'échelle du site, au-delà de la liste d'espèces ;
- Le site dispose de pisteurs qualifiés et d'un réseau d'itinéraires pouvant être parcourus annuellement selon un protocole stable (pour la version Savane du Niveau 2) ;
- Des ressources permettent d'envisager des campagnes annuelles structurées.

NIVEAU

2

Suivi structuré par biome

Premier niveau d'analyse robuste — transects traces en savane, transects recce en forêt

Synthèse du niveau

Ressources financières	Faibles à modérées — mobilise les ressources humaines existantes (pisteurs, écogardes)
Ressources humaines	Équipe de pisteurs expérimentés ; un responsable scientifique pour la définition du protocole et l'analyse
Objectif principal	Produire un suivi structuré et répétable des tendances de populations sur des itinéraires stables
Métriques accessibles	Indices d'abondance relative contrôlés ; densité minimale conservatrice (FMP en savane) ; tendances temporelles
Outils recommandés	Transects répétés, FMP (voir Fiches Techniques 5 et 6), SMART pour la collecte
Fréquence	Annuelle, dans la même fenêtre saisonnière
Biomes	Savane +++ (transects traces) / Forêt ++ (transects recce)

Finalité du niveau

Le Niveau 2 est le premier niveau à proposer un suivi structuré sur la base d'un cadre analytique explicite. Il repose sur le parcours répété d'un réseau stable d'itinéraires, dans la même fenêtre saisonnière chaque année, avec enregistrement standardisé des observations ou des indices. Il vise une lecture opérationnelle, régulière et peu coûteuse de l'évolution des populations focales, adaptée aux capacités des équipes de terrain existantes.

La robustesse de ce niveau dépend moins du coût que de la discipline du protocole : stabilité des itinéraires, constance de la saison de prospection, documentation rigoureuse de l'effort, identification correcte des indices. C'est un niveau exigeant sur la rigueur, peu exigeant sur les ressources.

Ce niveau se décline de manière très différente selon le biome. En savane, le support privilégié est le comptage standardisé de traces fraîches le long d'itinéraires répétés, interprétable via la formule Formozov-Malyshev-Pereleshin (FMP). En forêt, le support privilégié est le transect de reconnaissance (recce), qui enregistre les indices de présence (crottes, nids, observations directes) le long de lignes semi-structurées.

À retenir

Les densités dérivées par FMP sont des densités minimales conservatrices et non des estimations absolues robustes au sens statistique. Les indices produits par les transects recce doivent être impérativement standardisés sur l'effort (observations par km) et ne peuvent être comparés entre sites qu'avec les mêmes observateurs, la même saison, les mêmes itinéraires. Ces limites doivent être présentées explicitement dans tous les rapports.

Déclinaison SAVANE

La version savane du Niveau 2 repose sur le comptage standardisé de traces fraîches le long d'un réseau stable de pistes et de transects. Les sols de savane conservent bien les empreintes pendant plusieurs jours, ce qui permet une mesure pseudo-longitudinale de la fréquentation.

Méthode recommandée : transects traces répétés × formule Formozov-Malyshev-Pereleshin (FMP). Le réseau de pistes est stable d'une année à l'autre ; la prospection se fait dans la même fenêtre saisonnière (typiquement en fin de saison sèche) et uniquement sur les traces fraîches (seuil temporel défini, par exemple < 24 h). L'estimation de la distance journalière parcourue par chaque espèce est soit tirée de la littérature, soit dérivée de suivis télémétriques réalisés en collaboration avec des partenaires scientifiques.

Espèces cibles typiques : éléphants, buffles, hippotragues, lions, hyènes, grandes antilopes. Référence méthodologique détaillée en Fiche Outil 5.

Déclinaison FORÊT

En forêt, les sols conservent mal les empreintes (humidité, litière épaisse, feuilles mortes) et la méthode FMP n'est généralement pas applicable. Le Niveau 2 repose alors sur des transects de reconnaissance (recce) : cheminement semi-structuré le long d'itinéraires définis, enregistrant les indices de présence (crottes, nids, observations directes, vocalisations).

Méthode recommandée : transects recce répétés avec effort contrôlé. Les transects sont parcourus à une vitesse cible constante (par exemple 1 km/h effectif), dans la même saison chaque année, avec la même équipe lorsque possible. Les métriques produites sont des taux de rencontre (indices / km) à interpréter avec prudence.

Espèces cibles typiques : éléphants de forêt (crottes), grands singes (nids, crottes), bongos (crottes, empreintes sur boue), céphalophes. Les transects recce peuvent ensuite évoluer vers des transects linéaires rigoureux pour le distance sampling (Niveau 4).

Exigences minimales de mise en œuvre

- Disposer d'un réseau d'itinéraires stable d'une année à l'autre, géoréférencé et documenté ;
- Définir une fenêtre saisonnière de prospection et s'y tenir strictement (variation maximale de ± 2 semaines entre années) ;

- Former les pisteurs à un protocole commun d'identification et d'enregistrement des indices, avec critères de fraîcheur ;
- Documenter systématiquement pour chaque transect : date, heure de début et fin, équipe, conditions météorologiques, distance effectivement parcourue ;
- Encoder les données dans une base structurée permettant l'analyse par SIG ;
- Pour la version savane, documenter explicitement la source de la distance journalière utilisée pour chaque espèce dans le calcul FMP.

Métriques accessibles et produits attendus

- Nombre de traces ou d'indices par 100 km prospectés, par espèce ;
- Cartographie de la distribution spatiale des indices de présence sur le réseau de transects ;
- Densité minimale conservatrice via FMP en savane (lorsque la distance journalière est connue), exprimée comme une borne inférieure de la densité réelle ;
- Tendances temporelles interannuelles pour chaque espèce cible, présentées avec leurs intervalles de confiance ;
- Rapport annuel structuré présentant les résultats par espèce, la comparaison avec les années précédentes et les éventuels changements contextuels (pression anthropique, conditions climatiques).

Quand passer au Niveau 3 ?

- Le gestionnaire souhaite une couverture spatiale structurée et exhaustive sur l'ensemble de l'AP, plutôt que ciblée sur un réseau de pistes ;
- Des indicateurs prenant en compte explicitement la détectabilité (occupation modélisée) deviennent nécessaires ;
- Des ressources permettent l'acquisition de 30 à 60 photopièges et la mobilisation d'une équipe SIG ;
- Le besoin émerge de documenter la richesse de la communauté entière de mammifères terrestres, au-delà des espèces cibles.

NIVEAU

3

Photopiégeage standardisé sur grille d'échantillonnage*Niveau standard de biomonitoring — quand l'AP dispose d'au moins 40 photopièges et d'une équipe dédiée***Synthèse du niveau**

Ressources financières	Modérées — acquisition, maintenance et remplacement de 30 à 60 photopièges ; compétences SIG et analyse
Ressources humaines	Équipe dédiée capable de planifier, déployer, encoder et analyser
Objectif principal	Suivi standardisé de la communauté de mammifères terrestres à l'échelle du site
Métriques accessibles	Richesse spécifique, occupation naïve et modélisée, structure de communauté
Outils recommandés	Photopièges + grille SIG + protocole Gabon (voir Fiches Techniques 2, 3, 4)
Fréquence	Annuelle ou biannuelle, en saison sèche de préférence
Biomes	Forêt +++ / Savane ++ (maille adaptée)

Finalité du niveau

Le Niveau 3 est le niveau standard de biomonitoring que toute aire protégée devrait viser à atteindre dès qu'elle dispose de moyens dédiés. Il marque l'entrée dans un véritable programme de suivi écologique à l'échelle du site : couverture spatiale systématique sur grille, protocole explicite et documenté, équipe pérenne disposant des compétences techniques (SIG, encodage, analyse).

Ce niveau vise à produire un suivi comparable dans le temps et dans l'espace sur l'ensemble de l'aire protégée. Il permet de détecter des changements significatifs de la communauté de mammifères, d'appuyer la gestion adaptative et de produire des indicateurs crédibles pour les bailleurs et les institutions. Les niveaux supérieurs (4 et 5) ne s'y substituent pas mais répondent à des besoins plus spécifiques : inventaires stratégiques d'abondance absolue (Niveau 4), dispositifs intégrés de pointe (Niveau 5).

Ce niveau s'appuie sur un protocole de référence éprouvé : la grille systématique à maille 6×6 km développée et validée au Gabon (Whytock et al., 2022) pour les forêts tropicales humides, avec adaptations documentées pour d'autres contextes. Ce protocole est détaillé en Fiche Technique 2.

À retenir

L'objectif central du Niveau 3 est de savoir où les espèces sont présentes, comment elles utilisent l'espace, et comment cela évolue dans le temps — non d'estimer des densités absolues. L'occupation modélisée est souvent plus informative pour la gestion quotidienne que les estimations ponctuelles de densité. Ces dernières relèvent du Niveau 4 et n'ont pas vocation à orienter les décisions de gestion courantes.

Déclinaison FORÊT

La grille systématique à maille 6×6 km développée au Gabon est le protocole de référence en forêt tropicale humide d'Afrique centrale. Les photopièges sont positionnés au centre (ou à un emplacement adapté) de chaque cellule, pour une durée de pose standard de 30 à 45 jours. Pour une aire protégée de 2 000 km², cela représente typiquement 50 à 60 stations, soit un effort compatible avec une équipe formée.

Les espèces documentées couvrent généralement l'ensemble de la communauté de mammifères de taille moyenne à grande : éléphants de forêt, gorilles, chimpanzés, buffles de forêt, bongos, sitatungas, céphalophes, potamochères, léopards. L'activité circadienne des éléphants est un indicateur particulièrement sensible à la pression anthropique.

Déclinaison SAVANE

La grille reste pertinente en savane, mais la maille peut être adaptée à la taille et à l'hétérogénéité du site (6×6 km, 8×8 km, voire 12×12 km selon la taille de l'AP). Les points d'eau, les passages contraints et les plaines constituent les positions de pose prioritaires au sein de chaque cellule, en lieu et place d'un centrage géométrique strict.

La combinaison avec le Niveau 2 (transects traces) reste pertinente en savane : les photopièges documentent la richesse et l'occupation, les transects traces documentent les tendances d'espèces cibles particulières (notamment les espèces difficiles à photographier en savane ouverte : hippotragues, éléphants, grands prédateurs). Le mode timelapse est recommandé aux points d'eau.

Compétences requises de l'équipe

- SIG : génération d'une grille d'échantillonnage, gestion des métadonnées géoréférencées, production de cartes thématiques (voir Fiche Technique 3) ;
- Déploiement standardisé des photopièges selon le protocole de référence (voir Fiche Technique 2) ;
- Traitement des images : encodage dans Timelapse ou CameraBase, utilisation éventuelle d'outils d'IA (Mbaza AI, Wildlife Insights) avec supervision humaine systématique ;
- Analyses statistiques de base : occupation naïve, occupation modélisée (modèles MacKenzie), richesse spécifique, activité circadienne (voir Fiche Technique 4) ;

- Rédaction de rapports techniques et communication des résultats aux différentes parties prenantes (gestionnaires, COMIFAC, bailleurs).

Exigences minimales de mise en œuvre

- 30 à 60 photopièges fonctionnels, avec stock de pièces de rechange (batteries, cartes mémoire, câbles antivol) ;
- Grille d'échantillonnage explicite couvrant l'ensemble du site ou la zone contrôlée, géoréférencée et documentée ;
- Protocole standardisé de placement des caméras : hauteur, orientation, distance à la piste, dégagement de la végétation ;
- Documentation complète de l'effort par station : date de pose, date de relève, durée effective de fonctionnement, éventuelles défaillances ;
- Campagnes répétées à fréquence définie (typiquement annuelle en saison sèche) ;
- Encodage systématique dans une base structurée et sauvegardée, avec identification au niveau de l'espèce (et de l'individu lorsque possible).

Produits attendus

- Rapport de suivi écologique annuel ou biennuel, publié et partagé ;
- Liste d'espèces documentée avec indicateurs de richesse spécifique par zone ;
- Cartes de répartition et d'occupation modélisée, espèce par espèce ;
- Profils d'activité circadienne des espèces sensibles à la pression anthropique (éléphants en particulier) ;
- Comparaisons avec les campagnes précédentes, présentation des tendances avec intervalles de confiance ;

Quand passer au Niveau 4 ?

- Des ressources supplémentaires (financières, humaines, en expertise externe) deviennent disponibles pour un inventaire stratégique lourd ;
- Une demande institutionnelle ou bailleur exige des métriques d'abondance absolue pour une espèce focale (CITES, quotas, rapport national, viabilité de population) ;
- La réactualisation du plan d'aménagement de l'aire protégée nécessite des points de référence chiffrés à des fins de planification quinquennale ;
- Le site souhaite contribuer à un dispositif régional de référence ou tester des méthodes émergentes (bioacoustique, eDNA, IA avancée) en appui du Niveau 5.

NIVEAU

4

Inventaires stratégiques d'abondance absolue

Gold standard scientifique — quand des estimations de densité ou de taille de population sont explicitement requises

Synthèse du niveau

Ressources financières	Élevées — inventaires lourds en logistique, matériel et personnel
Ressources humaines	Expertise scientifique spécialisée, souvent mobilisée en partenariat ou externalisée
Objectif principal	Estimer l'abondance absolue ou la densité de populations d'espèces focales
Métriques accessibles	Densité absolue (individus/km ²), taille de population (N), structure démographique
Méthodes typiques	Distance Sampling (LTDS, CTDS), Capture-Marquage-Recapture (CMR, SCR), viewshed estimators, survols aériens (voir Fiches Techniques 6 et suivantes)
Fréquence	Quinquennale — inventaires stratégiques programmés avec le plan d'aménagement
Biomes	Forêt et Savane selon la méthode

Finalité du niveau

Le Niveau 4 regroupe les méthodes permettant de produire des estimations robustes d'abondance absolue ou de densité de population pour des espèces focales. Ces méthodes constituent le gold standard scientifique pour les grands mammifères emblématiques et sont nécessaires lorsque les questions de gestion ou de politique publique requièrent des chiffres fiables et défendables : établissement de quotas de prélèvement, évaluation de la viabilité d'une population, réponse à des demandes institutionnelles spécifiques (CITES, rapports nationaux, justification d'investissements conséquents de conservation).

Ce niveau s'inscrit dans une logique d'inventaire stratégique quinquennal, complémentaire des Niveaux 2 et 3 qui assurent le suivi continu. Les inventaires Niveau 4 fournissent les points de référence périodiques que les suivis courants calibrent et contextualisent. Ils ne doivent en aucun cas constituer le cœur d'un dispositif de biomonitoring opérationnel.

À retenir

Les méthodes du Niveau 4 sont coûteuses, lentes, fortement exigeantes en expertise et souvent peu utiles à la gestion quotidienne. Les intervalles de confiance peuvent rester larges, en particulier en forêt dense. Les comparaisons entre inventaires ne sont valides que si les protocoles sont strictement identiques. Ces méthodes ne doivent pas constituer le cœur du dispositif de biomonitoring d'une aire protégée : elles répondent à des questions stratégiques précises, espacées dans le temps. La gestion opérationnelle quotidienne repose sur les Niveaux 0 à 3.

Déclinaison SAVANE

Méthodes principales en savane : Distance Sampling linéaire (LTDS) appliqué aux transects à pied ou en véhicule pour les ongulés de moyenne et grande taille ; viewshed estimators pour les grands herbivores (éland, hippotrague, buffle) en zone de visibilité longue distance ; survols aériens systématiques pour les éléphants, buffles et grands ongulés (méthode officielle dans plusieurs pays — ex. Arrêté 221 du Cameroun) ; CMR par identification individuelle (clichés, motifs naturels, colliers) pour les grands carnivores emblématiques (lions, léopards).

L'émergence récente des techniques d'inventaire aérien combinant drones, imagerie à haute résolution et apprentissage profond (Delplanque, 2024) ouvre des perspectives importantes pour les sites où les survols classiques sont devenus difficiles ou inabordables. Ces approches restent à calibrer et valider localement avant mobilisation à grande échelle.

Déclinaison FORÊT

Méthodes principales en forêt : Distance Sampling linéaire (LTDS) appliqué aux transects à pied avec comptage d'indices (crottes d'éléphants, nids de grands singes) — méthodes de référence pour les éléphants de forêt et les grands singes, mobilisant les taux de décomposition des indices pour convertir en densités d'individus ; Camera Trap Distance Sampling (CTDS) pour les mammifères terrestres photographiables ; Capture-Marquage-Recapture spatiale (SCR) pour les espèces à patronyme individuel identifiable (léopards, certains céphalophes).

Les méthodes génétiques non invasives (génotypage SNP à partir de collectes d'excréments) constituent une voie complémentaire prometteuse pour certaines espèces focales telles que l'éléphant de forêt (Laguardia et al., 2021). L'ADN environnemental (eDNA) peut compléter ces approches pour la présence/absence d'espèces discrètes, mais reste aujourd'hui trop complexe et coûteux à déployer comme outil opérationnel standard à l'échelle d'un réseau d'aires protégées d'Afrique centrale.

Exigences générales de mise en œuvre

- Planification rigoureuse du design d'échantillonnage avant toute collecte — pilotage par un scientifique expérimenté ;

- Personnel formé aux méthodes spécifiques : observateurs qualifiés pour les transects distance sampling, personnel navigant qualifié pour les survols, personnel formé pour d'identification individuelle pour la CMR ;
- Outils analytiques spécialisés : logiciel Distance (LTDS, CTDS), MARK ou secr (CMR/SCR), packages R dédiés (unmarked, DistSamp, oSCR) ;
- Expertise externe recommandée pour la validation des analyses et l'interprétation ;
- Documentation complète des hypothèses, des limites et des intervalles de confiance dans les rapports finaux ;
- Archivage à long terme des données brutes (au minimum 15 ans) pour permettre des réanalyses ultérieures.

Produits attendus

- Rapport d'inventaire stratégique détaillant méthodologie, résultats chiffrés, intervalles de confiance et limites ;
- Estimations d'abondance ou de densité pour chaque espèce focale, avec incertitude explicite ;
- Cartographie fine de la distribution et de l'abondance spatiale lorsque la méthode le permet ;
- Recommandations de gestion dérivées des résultats (zonage, priorités de surveillance, quotas) ;
- Publication scientifique ou rapport technique publiquement accessible ;
- Jeu de données brut archivé et documenté, partagé sur les plateformes appropriées (GBIF, bases thématiques).

Quand passer au Niveau 5 ?

- Le site a vocation à servir de site pilote pour le développement ou la validation de méthodes émergentes ;
- Une collaboration scientifique structurée avec une université ou un institut de recherche est établie sur le moyen-long terme ;
- Un besoin de combiner plusieurs familles de méthodes (photopiégeage, bioacoustique, IA, eDNA) pour produire des indicateurs intégrés se manifeste ;
- Le gestionnaire contribue à un réseau régional de référence (SI-FFAC, méta-analyses régionales, indicateurs consolidés COMIFAC).

NIVEAU

5

Dispositif intégré de pointe

Recherche appliquée et innovation — pour sites pilotes disposant de partenariats scientifiques de long terme

Synthèse du niveau

Ressources financières	Très élevées — dispositif de pointe souvent financé via des programmes de recherche
Ressources humaines	Partenariat structuré avec une ou plusieurs équipes scientifiques ; chercheur ou biométricien intégré
Objectif principal	Combiner plusieurs familles de méthodes pour produire des indicateurs intégrés, tester des approches émergentes
Métriques accessibles	Indicateurs combinés, modèles intégrés de population, approches multi-taxons, indicateurs d'intégrité écologique
Méthodes mobilisées	Photopiégeage à grande échelle + bioacoustique + IA + CMR/SCR + génétique non invasive ; combinaisons adaptées au site
Fréquence	Continue avec campagnes ciblées — horizons de 5 à 15 ans
Biomes	Sites pilotes en forêt ou en savane

Finalité du niveau

Le Niveau 5 correspond à des dispositifs intégrés de pointe, déployés sur un nombre restreint de sites pilotes d'Afrique centrale disposant d'un partenariat scientifique structuré et pérenne. Ces dispositifs ne visent pas seulement à documenter la faune, mais à produire de la connaissance méthodologique transférable à l'ensemble du réseau : tester de nouvelles combinaisons d'outils, valider des indicateurs agrégés, calibrer des modèles pour le reste de la région.

Le Niveau 5 n'est pas un niveau à atteindre pour chaque aire protégée. Il s'agit d'un niveau réservé aux sites qui, par leurs caractéristiques écologiques, leur gouvernance stable, leurs partenariats scientifiques et leur vocation d'exemplarité, peuvent jouer un rôle d'infrastructure régionale de référence. Il s'inscrit dans une logique de mutualisation : les données et les méthodes développées au Niveau 5 bénéficient à l'ensemble du dispositif harmonisé régional.

À retenir

Le Niveau 5 ne doit pas être confondu avec une simple multiplication d'outils. Ce qui le caractérise n'est pas le nombre de méthodes mobilisées mais l'intégration analytique : production d'indicateurs combinés, modèles hiérarchiques multi-sources, calibration croisée des méthodes entre elles. Un site qui déploie des photopièges, de la bioacoustique et de l'eDNA de manière parallèle, sans les intégrer analytiquement, reste à un Niveau 3 ou 4 enrichi — pas à un Niveau 5.

Déclinaison SAVANE

Dispositifs-types en savane pilote : combinaison de survols aériens à haute résolution (drones + deep learning), photopiégeage sur grille adapté, CMR pour les carnivores emblématiques, bioacoustique passive ciblée (ex. lions, hyènes). L'intégration analytique porte notamment sur les modèles joints de distribution et d'abondance, sur la calibration entre estimations aériennes et terrestres, et sur le suivi de la pression anthropique intégré aux indicateurs sur la faune sauvage.

Sites potentiellement concernés : Chinko (APN, RCA), Zakouma (APN, Tchad) — sites combinant une gouvernance stable, des moyens conséquents et une vocation de démonstration méthodologique.

Déclinaison FORÊT

Dispositifs-types en forêt pilote : photopiégeage systématique à très large échelle (plusieurs centaines de stations), bioacoustique passive multi-sites (monitoring à grande échelle des taxons vocaux), génétique non invasive pour les éléphants et les grands singes, CMR spatiale pour les léopards, reconnaissance automatique par IA avec supervision humaine structurée. L'intégration analytique permet de produire des indicateurs multi-taxons comparables entre sites.

Sites potentiellement concernés : Nouabalé-Ndoki (WCS, Congo), Dzanga-Sangha (WWF, RCA), Lopé et autres sites du réseau gabonais (ANPN) — sites de référence historiques du biomonitoring forestier en Afrique centrale.

Exigences générales de mise en œuvre

- Partenariat scientifique formalisé et pérenne avec au moins une institution académique de référence ;
- Chercheur ou biométricien intégré à l'équipe, en poste ou en résidence régulière sur le site ;
- Capacité d'archivage et de traitement de grands volumes de données (plusieurs To par an) ;
- Gouvernance de données formalisée : règles d'accès, règles de copropriété scientifique, règles de partage avec le gestionnaire et les autorités nationales ;
- Plan de financement pluriannuel sécurisé sur au moins cinq ans ;
- Contribution documentée à la consolidation régionale : rapports comparés, participation aux groupes techniques COMIFAC, publications conjointes.

Produits attendus

- Rapports annuels intégrés combinant les différentes méthodes mobilisées ;
- Publications scientifiques régulières dans des revues à impact ;
- Jeux de données ouverts, déposés sur les plateformes de référence (GBIF, SI-FFAC) ;
- Indicateurs intégrés multi-taxons validés, transférables au reste du réseau ;

- Protocoles méthodologiques documentés et publiés (notes techniques, SOP), mobilisables par d'autres sites ;
- Contribution aux méta-analyses régionales (COMIFAC, IUCN, NaturAfrica) et à l'actualisation périodique de ce manuel.

Message clé

Le Niveau 5 est par définition un niveau exceptionnel. L'objectif régional n'est pas que toutes les aires protégées atteignent ce niveau, mais qu'un petit nombre de sites pilotes y accèdent et contribuent à faire progresser la qualité méthodologique de l'ensemble du réseau. Pour la grande majorité des aires protégées d'Afrique centrale, l'ambition prioritaire est d'atteindre et de consolider le Niveau 3.

PARTIE 3

Fiches Techniques

Méthodes et outils de biomonitoring — neuf fiches détaillées

Présentation de la Partie 3

La Partie 3 du manuel présente neuf fiches techniques détaillant les méthodes et les outils techniques mobilisés dans le dispositif harmonisé. Chaque fiche est structurée de manière homogène en sept sections : principe, objectifs et métriques produites, contextes d'application (avec déclinaisons forêt et savane lorsque pertinent), protocole général opérationnel, avantages, limites et précautions, ressources pour aller plus loin.

Les fiches techniques sont référencées depuis les fiches niveaux de la Partie 2 : chaque niveau renvoie aux fiches qu'il mobilise. Une fiche peut être mobilisée à plusieurs niveaux de sophistication — par exemple, le piégeage photographique intervient dès le Niveau 1 (déploiement ciblé sur quelques sites clés) et jusqu'au Niveau 4 (Camera Trap Distance Sampling pour l'estimation de densité absolue).

Message clé

Une fiche technique n'est pas une méthode de suivi écologique à elle seule. La pertinence d'une technique dépend du niveau auquel elle est mobilisée, du plan d'échantillonnage retenu, et de la question de gestion à laquelle elle répond. C'est la combinaison niveau + technique + plan d'échantillonnage + analyse qui définit un dispositif opérationnel complet.

FICHE

1

SMART / EarthRanger

Plateformes numériques de gestion et d'archivage centralisé des données de conservation

1. Principe

SMART (Spatial Monitoring and Reporting Tool) et EarthRanger sont deux plateformes numériques dédiées à la gestion des données de conservation, largement déployées en Afrique centrale. Elles assurent la collecte standardisée sur le terrain via smartphone ou GPS, la centralisation dans une base de données géoréférencée, et la visualisation cartographique et statistique des observations.

SMART est historiquement orienté vers le reporting des patrouilles et des observations de terrain, avec un accent fort sur la lutte anti-braconnage. EarthRanger s'est développé comme une plateforme de suivi opérationnel en temps réel, capable d'intégrer des flux de données variés (balises GPS, colliers animaux, véhicules, capteurs fixes). En 2025, les deux organisations ont annoncé leur rapprochement au sein de la SMART-EarthRanger Conservation Alliance (SERCA), amorçant une convergence technique et fonctionnelle des deux outils.

À retenir

SMART et EarthRanger sont avant tout des outils de collecte et de gestion de données, pas des méthodes de suivi écologique. Leur usage principal reste le monitoring des activités de surveillance (patrouilles, incidents, signalements). Les métriques fauniques qui en sont dérivées sont limitées par l'absence de contrôle sur l'effort d'échantillonnage. La confusion fréquente entre monitoring de patrouille et monitoring de biodiversité doit être évitée dans les rapports.

2. Objectifs et métriques

Au Niveau 0, SMART et EarthRanger permettent de produire : liste d'espèces documentée, distribution spatiale des occurrences, cartographie des activités humaines. Ces plateformes sont également utilisées comme support de collecte dans les niveaux supérieurs (enregistrement des observations lors des transects, gestion logistique des campagnes de photopiégeage).

Dans des contextes où l'effort de patrouille est rigoureusement documenté (itinéraires répétés, temps passé, équipes constantes), les données SMART peuvent alimenter des analyses d'occupation modélisée, moyennant un cadrage méthodologique explicite. Ce cas d'usage reste marginal dans les configurations actuelles.

3. Contextes d'application

Tous les contextes écologiques (forêt et savane) et institutionnels (aires protégées nationales, AMCEZ, concessions forestières) sont concernés. L'outil est particulièrement utile lorsque plusieurs équipes collectent des données sur un même territoire et qu'il faut standardiser et centraliser l'information. Dans les paysages transfrontaliers (TNS, TRIDOM, Bili-Uélé, Garamba-Chinko), l'adoption d'une même plateforme facilite la consolidation régionale.

4. Protocole général de mise en œuvre

Paramétrage initial

Concevoir un modèle de données définissant les catégories d'observations (faune, indices, menaces, activités humaines) et leurs attributs (espèce, nombre, âge, sexe, comportement, fraîcheur). Ce modèle doit idéalement être standardisé au niveau national ou du paysage pour garantir la comparabilité entre sites. Des modèles de données de référence existent : modèle SMART pour l'Afrique centrale (COMIFAC), modèles spécifiques au programme ECOFAC, modèles par aires protégées.

Déploiement et formation

Installation de l'application mobile (SMART Mobile ou EarthRanger Mobile) sur les smartphones des équipes de terrain. Formation initiale de deux à cinq jours : saisie des observations, identification des catégories, géoréférencement, synchronisation. Formation continue trimestrielle recommandée pour consolider les pratiques et adapter le modèle de données.

Collecte sur le terrain

Enregistrement systématique de chaque observation lors des patrouilles et déplacements. Chaque enregistrement comporte obligatoirement : l'espèce ou le type d'indice, la localisation GPS, la date et l'heure, et les attributs définis dans le modèle de données. Photos optionnelles pour documentation.

Synchronisation et archivage

Transfert des données vers la base centrale lors du retour des équipes ou à chaque connexion internet. Archivage sécurisé sur serveur central (local ou cloud). Sauvegarde redondante obligatoire : au moins deux localisations différentes, dont l'une en dehors du site.

Analyse et visualisation

Visualisation via les outils intégrés (cartes de chaleur, tableaux de bord, graphiques temporels) ou export vers des outils d'analyse externes (SIG QGIS, R, Excel). Production de rapports trimestriels et annuels.

5. Avantages

- Standardisation de la collecte et traçabilité systématique (géoréférencement, horodatage automatiques) ;
- Centralisation dans une base sécurisée, accessible aux différentes équipes ;
- Outils gratuits (SMART) ou accessibles sous conditions partenariales (EarthRanger) ;
- Capitalisation historique à long terme, survivant aux rotations de personnel ;

- Interopérabilité croissante avec les autres outils (exports standardisés) ;
- Visualisation en temps réel utile au pilotage opérationnel (EarthRanger notamment).

6. Limites et précautions

- Dépendance aux appareils numériques : autonomie des batteries, robustesse en conditions tropicales, disponibilité du réseau pour la synchronisation ;
- Effort d'observation non contrôlé — les métriques quantitatives robustes d'abondance ou d'occupation ne sont pas directement produisibles sans protocole complémentaire ;
- Qualité fortement dépendante de la rigueur d'application du protocole de collecte et de la formation des équipes ;
- Nécessité d'un gestionnaire de données (data manager) dédié au-delà d'une certaine taille de dispositif ;
- Question de la souveraineté des données lorsque l'hébergement se fait sur des serveurs extérieurs — à anticiper dans les conventions avec les opérateurs.

7. Pour aller plus loin

- Wall et al. (2024). EarthRanger : An open-source platform for ecosystem monitoring, research and management. *Methods in Ecology and Evolution*, 15(8).
- Bassey et al. (2018). Use of CyberTracker and SMART for Effective Law Enforcement Monitoring in the Cross River Gorilla Landscape.
- SMART Conservation Tools : <https://smartconservationtools.org>
- EarthRanger : <https://earthranger.com>
- SERCA (SMART-EarthRanger Conservation Alliance) : <https://smartconservationtools.org/serca>
- Alternatives pour la collecte de terrain : ODK (<https://getodk.org>), KoboCollect (<https://www.kobotoolbox.org>), QField (<https://qfield.org>).

FICHE

2

Piégeage photographique*Outil pivot du biomonitoring — déclenchement automatique par capteur infrarouge***1. Principe**

Un piège photographique (ou photopiège, camera trap) est un appareil photo équipé d'un capteur infrarouge passif qui déclenche automatiquement la prise de vue lorsqu'un animal passe dans son champ de détection. Il assure un effort d'observation continu, objectif et documenté, vingt-quatre heures sur vingt-quatre. En mode timelapse, il peut aussi être configuré pour prendre des images à intervalles fixes sans dépendre du déclenchement infrarouge — mode particulièrement adapté aux baïs, points d'eau et grandes clairières.

Le piège photographique est l'outil qui a le plus transformé le biomonitoring en Afrique centrale au cours des quinze dernières années. L'enquête menée dans le cadre de cette étude confirme qu'il est l'outil le plus largement adopté (48 répondants sur 55). Il peut alimenter de nombreuses méthodes d'analyse selon le protocole retenu : occupation naïve ou modélisée, richesse spécifique, activité circadienne, Camera Trap Distance Sampling (CTDS), Capture-Marquage-Recapture (CMR) pour les espèces à patronyme individuel identifiable.

Message clé

Le piégeage photographique est un outil, pas une méthode. Sa valeur analytique dépend entièrement du plan d'échantillonnage, du protocole de déploiement et des compétences d'analyse mobilisées. Un même réseau de photopièges peut produire une liste d'espèces (Niveau 1), une occupation modélisée (Niveau 3) ou une densité absolue par CTDS (Niveau 4) selon la manière dont il est mis en œuvre.

2. Objectifs et métriques

Selon le protocole et le niveau de sophistication analytique, le piégeage photographique permet de produire :

- Présence / absence d'espèces (Niveau 1) ;
- Liste documentée de la communauté de mammifères (Niveaux 1 à 3) ;
- Richesse spécifique à l'échelle locale ou du site (Niveaux 1 à 3) ;
- Occupation naïve et modélisée (Niveau 3) ;
- Profils d'activité circadienne par espèce (Niveaux 1 à 3) — indicateur particulièrement sensible à la pression anthropique ;
- Taux de capture (événements par 100 jours-pièges) — à interpréter avec prudence comme indice relatif ;

- Densités absolues via CTDS ou CMR spatiale pour les espèces éligibles (Niveau 4).

3. Contextes d'application

Déclinaison FORÊT

Le piégeage photographique est particulièrement efficace en forêt dense tropicale, où les observations visuelles directes sont très limitées du fait du couvert végétal et de la discrétion des espèces. Il compense cette faible détectabilité humaine en produisant des enregistrements objectifs nuit et jour.

Sites prioritaires de déploiement : baïs, salines, pistes à éléphants et grands mammifères, grandes clairières naturelles, pistes forestières entretenues. Le protocole gabonais de référence (maille systématique 6×6 km) est le standard de référence en Afrique centrale forestière (Whytock et al., 2022).

Déclinaison SAVANE

En savane, le piégeage photographique est moins central que les observations directes et les inventaires aériens, mais reste un outil important pour documenter les espèces nocturnes, discrètes ou rares (léopards, hyènes, servals, civettes), qui échappent aux méthodes visuelles conventionnelles.

Sites prioritaires : points d'eau permanents (saison sèche) et saisonniers (saison humide), passages forcés entre zones de végétation différenciée, rares pistes marquées par la grande faune. Le mode timelapse est fortement recommandé aux points d'eau pour documenter les visites successives sans dépendre du déclenchement infrarouge.

4. Protocole général opérationnel

Choix du matériel

Appareils résistants (classe IP54 minimum, idéalement IP66 pour les conditions tropicales), déclenchement rapide (< 0,5 seconde), bonne qualité d'image nocturne (flash infrarouge invisible), autonomie d'au moins trente jours avec un jeu de batteries. Les modèles couramment utilisés en Afrique centrale incluent Reconyx, Bushnell, Cuddeback, Browning. Mini-panneaux solaires recommandés pour les déploiements de longue durée.

Paramétrage standardisé

Tous les appareils d'une campagne doivent être paramétrés de manière identique : date et heure exactes (indispensable pour l'activité circadienne), délai minimal entre deux déclenchements (10 à 30 secondes), nombre de photos par événement (typiquement 3), sensibilité du capteur (moyenne par défaut, haute pour espèces petites). Documenter le paramétrage dans un fichier de configuration partagé.

Placement sur le terrain (protocole de référence gabonais)

- Hauteur : 30 à 40 cm du sol pour les mammifères terrestres ;

- Distance à la piste ou au passage : 3 à 5 mètres ;
- Orientation : préférentiellement nord-sud pour éviter les déclenchements parasites causés par le soleil ;
- Dégagement de la végétation dans le champ de vue (mais maintien de la couverture pour la protection de l'appareil) ;
- Documentation systématique : coordonnées GPS, date de pose, hauteur, orientation, description du contexte écologique, photo de référence du site.

Durée de pose et rotation

Pour la production d'indicateurs robustes (richesse, occupation), une durée de pose minimale de 30 à 45 jours est recommandée par station. Pour les analyses d'activité circadienne, une durée plus longue (60 à 90 jours) consolide les profils. Rotation des appareils selon un calendrier fixe, dans la même fenêtre saisonnière chaque année pour la comparabilité temporelle.

Gestion des données et traitement

Extraction régulière des images (chaque rotation ou relève). Identification espèce par espèce avec traçabilité (station, date, heure). Encodage dans une base structurée : Timelapse, CameraBase, Agouti, Wildlife Insights, Camelot. Utilisation recommandée d'outils d'intelligence artificielle pour le tri initial (Mbaza AI, Wildlife Insights), avec supervision humaine systématique — la validation par un opérateur expérimenté reste indispensable à la qualité finale des données (Huebner et al., 2024).

À retenir

Les méthodes émergentes comme l'ADN environnemental (eDNA) permettent de compléter le piégeage photographique pour la détection d'espèces très discrètes ou aquatiques. Elles restent cependant à ce jour coûteuses, dépendantes de partenariats avec des laboratoires spécialisés, et peu adaptées à un déploiement opérationnel standard à l'échelle d'un réseau d'aires protégées. Elles peuvent être mobilisées ponctuellement en Niveau 4 ou 5 en complément des pièges photographiques, non en substitution.

5. Avantages

- Observation objective, continue et standardisée, 24h/24, 7j/7 ;
- Forte réduction du biais de l'observateur — les images constituent une preuve vérifiable ;
- Détection efficace des espèces nocturnes, discrètes et rares ;
- Mobilisable pour de multiples analyses selon le protocole (présence, occupation, activité, densité) ;
- Données réutilisables à long terme — les archives d'images peuvent être réanalysées avec de nouvelles méthodes (IA, nouvelles espèces-cibles) ;
- Capitalisation historique précieuse pour documenter les tendances interannuelles.

6. Limites et précautions

- Coûts d'achat (200 à 800 USD par appareil), de maintenance et de remplacement (vol, dégradation) ;
- Volume important d'images à traiter — compter environ 1 à 2 heures de travail humain pour 1 000 images, même avec l'appui de l'IA ;
- Sous-représentation systématique des espèces arboricoles (primates), très petites (rongeurs), aériennes (oiseaux), et de la plupart des reptiles et amphibiens — complémentarité nécessaire avec la bioacoustique et les observations directes ;
- Risque de vol ou de dégradation sur sites accessibles — utilisation de boîtiers antivol recommandée ;
- Comparaison inter-sites délicate si les protocoles de déploiement ne sont pas strictement identiques.

7. Pour aller plus loin

- Whytock, Momboua et al. (2022). Une stratégie nationale de suivi faunique pour le Gabon : Suivis des mammifères forestiers terrestres à l'aide de pièges photographiques. Référence méthodologique centrale en Afrique centrale forestière.
- Bruce et al. (2025). Large-scale and long-term wildlife research and monitoring using camera traps : a continental synthesis. *Biological Reviews*.
- Zwerts et al. (2021). Methods for wildlife monitoring in tropical forests : Comparing human observations, camera traps, and passive acoustic sensors. *Conservation Science and Practice*.
- Jansen et al. (2014). Camera Trapping — TEAM Network Terrestrial Vertebrate Protocol 3.1.
- Huebner et al. (2024). Human Supervision is Key to Achieving Accurate AI-assisted Wildlife Identifications in Camera Trap Images. *Methods in Ecology and Evolution*.
- Outils logiciels : Timelapse (<https://saul.cpsc.ucalgary.ca/timelapse>), Agouti (<https://www.agouti.eu>), Wildlife Insights (<https://wildlifeinsights.org>), Mbaza AI (Appsilon), Camelot.
- Fournisseurs principaux : Reconyx, Bushnell, Browning, Cuddeback.

FICHE

3

Grille d'échantillonnage SIG*Plan d'échantillonnage systématique pour les dispositifs structurés***1. Principe**

La grille d'échantillonnage est le plan d'échantillonnage systématique qui sous-tend les dispositifs de biomonitoring structurés à partir du Niveau 3. Elle consiste à découper l'aire protégée en cellules régulières (typiquement carrées), chaque cellule constituant une unité d'échantillonnage dans laquelle une ou plusieurs stations de mesure sont positionnées (piège photographique, transect, point d'écoute bioacoustique).

La grille systématique garantit une couverture spatiale homogène du site, évite les biais de sélection (concentration des stations sur des zones supposées plus riches), et permet des analyses statistiques robustes (occupation modélisée, richesse, analyses spatialisées). Elle est la traduction opérationnelle de l'exigence de comparabilité entre sites et dans le temps : deux aires protégées utilisant la même maille peuvent produire des indicateurs directement comparables.

2. Objectifs et métriques

La grille d'échantillonnage n'est pas en elle-même productrice de métriques : elle est le support sur lequel d'autres outils (pièges photographiques, transects, capteurs acoustiques) sont déployés. Elle conditionne cependant la qualité statistique des métriques produites : occupation modélisée, richesse spécifique extrapolable, analyses spatialisées de distribution.

3. Contextes d'application

La grille d'échantillonnage est mobilisée à partir du Niveau 3 dans le dispositif harmonisé. Elle est applicable aux deux biomes, avec des adaptations de taille de maille :

Déclinaison FORÊT

Maille standard de référence : 6×6 km (36 km² par cellule), protocole gabonais de Whytock et al. (2022). Cette maille est adaptée aux grandes aires protégées forestières du Bassin du Congo. Pour une aire de 2 000 km², elle conduit à environ 55 stations. Pour des aires plus petites (< 500 km²), une maille plus fine (3×3 km ou 4×4 km) peut être envisagée.

Déclinaison SAVANE

La maille peut être plus large en savane (6×6 km à 12×12 km) du fait de l'hétérogénéité paysagère plus marquée et de la nécessité de couvrir de grandes étendues. Le positionnement des stations au sein de chaque cellule peut dévier du centre géométrique strict pour privilégier les points d'eau, passages et baïs (positionnement stratifié).

4. Protocole général opérationnel

Délimiter l'emprise du site dans un SIG

Récupérer ou produire la couche SIG des limites de l'aire protégée ou de la zone contrôlée. Vérifier la projection utilisée et convertir si nécessaire en projection métrique locale (UTM de la zone correspondante). L'emprise peut être élargie d'une zone tampon si les objectifs de suivi incluent la périphérie (zones de conflit homme-faune par exemple).

Choisir la taille de la cellule

La taille de cellule est choisie en fonction de : la taille de l'aire protégée (rapport nombre de cellules / surface totale), la mobilité des espèces cibles (cellules trop petites par rapport au domaine vital = non-indépendance des détections), les ressources disponibles (une cellule = une station de mesure = un piège photographique + matériel + équipe). Une règle opérationnelle : viser entre 40 et 80 cellules en Niveau 3, cohérent avec la capacité matérielle standard d'une AP équipée.

Générer et caler la grille en UTM

Utiliser QGIS ou équivalent (outils gratuits) : menu Vecteur → Outils de recherche → Créer une grille. Définir la projection UTM, la taille de cellule en mètres, et l'emprise. La grille peut ensuite être intersectée avec l'emprise de l'AP pour ne conserver que les cellules pertinentes (supprimer les cellules totalement hors AP). Un tutoriel détaillé est disponible dans Justin et al. (2021).

Définir les unités d'échantillonnage

Pour chaque cellule, définir la position de la station de mesure. Trois approches : positionnement au centre géométrique (protocole strict) ; positionnement aléatoire à l'intérieur de la cellule ; positionnement stratifié sur un élément paysager structurant (piste à grands mammifères, piste d'éléphants, bord de rivière, baï). L'approche stratifiée est celle retenue dans la plupart des protocoles opérationnels, avec documentation explicite du critère de sélection.

Documentation et versionnage

La grille doit être versionnée et archivée : toute modification ultérieure (ajout de cellules, déplacement de stations) doit être explicitement documentée pour préserver la comparabilité temporelle. Les coordonnées de chaque station et les métadonnées associées sont enregistrées dans un tableur géoréférencé, sauvegardé dans au moins deux localisations.

5. Avantages

- Couverture spatiale homogène garantissant des analyses statistiques robustes ;

- Élimination des biais de sélection dans le choix des stations ;
- Comparabilité directe entre sites utilisant la même taille de maille ;
- Base explicite pour les analyses spatialisées (cartes d'occupation, modèles de distribution) ;
- Support standardisé pour les exports vers les plateformes régionales (SI-FFAC, GBIF).

6. Limites et précautions

- La grille ne convient pas à tous les objectifs : pour le suivi ciblé d'espèces sur sites stratégiques (baïes, points d'eau), le protocole du Niveau 1 (stations choisies à dessein) reste plus pertinent ;
- Le choix de la taille de maille est structurant et difficilement réversible sans rompre la comparabilité temporelle ;
- Dans les aires protégées de forme très irrégulière ou morcelées, certaines cellules peuvent se retrouver partiellement hors AP — documenter explicitement le traitement de ces cas ;
- Certaines stations peuvent être inaccessibles (falaise, zone inondée, zone de conflit sécuritaire) — documenter les cellules non échantillonnées et leurs raisons ;
- Le positionnement stratifié au sein de chaque cellule doit suivre des règles écrites pour préserver la reproductibilité.

7. Pour aller plus loin

- Whytock, Momboua et al. (2022). Une stratégie nationale de suivi faunique pour le Gabon — définit le protocole de grille 6x6 km de référence.
- Justin, Holvoet, Fonteyn et al. (2021). Tutoriel — Créer une grille d'inventaire systématique à l'aide de l'outil QGIS. Gembloux Agro-Bio Tech.
- O'Brien & Strindberg (2015). Occupancy-related metrics for wildlife status assessment — fondements statistiques de l'échantillonnage systématique.
- Outils SIG gratuits : QGIS (<https://qgis.org>), GRASS GIS, logiciels R (packages sf, terra).
- Conversion de projections et UTM : <https://epsg.io> pour identifier le code EPSG UTM approprié selon la zone géographique.

FICHE

4

Modèles d'occupation

Cadre analytique estimant la probabilité de présence en corrigeant la détectabilité imparfaite

1. Principe

Les modèles d'occupation constituent un cadre statistique développé par MacKenzie et al. au début des années 2000, largement adopté en biologie de la conservation et aujourd'hui considéré comme le meilleur compromis entre robustesse scientifique et faisabilité opérationnelle pour le suivi harmonisé des populations de faune sauvage. Ils estiment la probabilité qu'une espèce soit présente dans un site (paramètre ψ , psi) en tenant explicitement compte du fait qu'une espèce peut ne pas être détectée même lorsqu'elle est présente (paramètre p , détectabilité).

Le principe repose sur la répétition de visites (ou d'occasions d'échantillonnage) sur un même site. Si l'espèce est détectée lors d'au moins une visite, on sait qu'elle est présente. Si elle n'est détectée lors d'aucune visite, deux hypothèses sont possibles : soit elle est absente, soit elle est présente mais n'a pas été détectée. Les modèles d'occupation démêlent statistiquement ces deux cas en estimant simultanément ψ et p à partir de l'historique complet des détections sur l'ensemble des sites.

Message clé

L'occupation est la colonne vertébrale méthodologique du dispositif harmonisé proposé dans ce manuel. Elle est mobilisée aux Niveaux 2 et 3 et constitue la principale métrique de comparabilité régionale. Elle offre un compromis entre la robustesse statistique des estimations de densité (coûteuses) et la simplicité des indices relatifs (peu robustes).

2. Objectifs et métriques

- Probabilité d'occupation (ψ) : proportion estimée de sites effectivement occupés par l'espèce, corrigée de la détectabilité imparfaite (valeur entre 0 et 1) ;
- Probabilité de détection (p) : probabilité de détecter l'espèce lors d'une occasion d'échantillonnage, conditionnée par sa présence (valeur entre 0 et 1) ;
- Occupation modélisée conditionnelle à des covariables environnementales ou anthropiques (altitude, distance aux villages, pression de surveillance, pressions pastorales) ;
- Tendances temporelles d'occupation sur plusieurs saisons via les modèles dynamiques multi-saisons (MacKenzie et al., 2003) ;
- Cartes prédictives d'occupation à l'échelle du site, utiles au zonage et à la priorisation des efforts de surveillance.

3. Contextes d'application

Les modèles d'occupation s'appliquent dans les deux biomes et avec différents supports de collecte : pièges photographiques, transects de reconnaissance, points d'écoute bioacoustiques, observations opportunistes avec effort documenté. Ils sont particulièrement adaptés lorsque les espèces-cibles sont discrètes ou en faible densité, c'est-à-dire précisément dans les conditions caractéristiques des forêts tropicales d'Afrique centrale.

Ils nécessitent un plan d'échantillonnage structuré : au minimum une grille de sites, avec chaque site visité plusieurs fois (au moins 3 occasions, idéalement 5 à 10). La durée de pose standardisée d'un photopiège de 30 à 45 jours peut être découpée a posteriori en occasions de 5 à 7 jours pour l'analyse.

4. Protocole général opérationnel

Conception du plan d'échantillonnage

Définir le nombre de sites (N) et le nombre d'occasions par site (J). La puissance statistique dépend du produit $N \times J$. Règle indicative : pour une espèce de détectabilité modérée, viser $N \geq 40$ sites et $J \geq 5$ occasions. Pour les espèces rares, augmenter N au détriment de J. Le plan d'échantillonnage doit être documenté ex ante et respecté strictement.

Collecte des données

Pour chaque site et chaque occasion, enregistrer une valeur binaire : 1 si l'espèce a été détectée, 0 sinon. Documenter systématiquement les covariables susceptibles d'affecter la détectabilité (conditions météorologiques, observateur, effort), et les covariables environnementales du site (habitat, altitude, distance à diverses pressions).

Préparation de la matrice de détection

Construire une matrice sites $\times$ occasions contenant les détections (0/1), et un tableau de covariables par site. Cette préparation se fait généralement dans un tableur (Excel ou CSV) puis est importée dans le logiciel d'analyse.

Ajustement des modèles

Utiliser des logiciels dédiés : package R unmarked (référence pour l'ajustement des modèles MacKenzie), package R occuR pour les modèles dynamiques, logiciel PRESENCE (interface utilisateur). Ajuster plusieurs modèles candidats (avec ou sans covariables sur ψ et p) et sélectionner le meilleur via l'AIC. Calculer les intervalles de confiance sur les paramètres estimés.

Interprétation et restitution

Présenter les résultats sous forme d'occupation globale $\pm$ intervalle de confiance, et de cartes prédictives si les covariables spatiales le permettent. Attention à l'interprétation : ψ est une probabilité de présence du site, non une densité. Pour les espèces mobiles, ψ s'interprète souvent comme la probabilité d'utilisation du site — nuance importante à communiquer.

5. Avantages

- Corrige explicitement la détectabilité imparfaite — différencie absence réelle et non-détection ;

- Scientifiquement robuste et largement accepté dans la littérature internationale ;
- Applicable à des supports de collecte variés (pièges photographiques, transects, acoustique) ;
- Produit des intervalles de confiance statistiquement interprétables ;
- Permet l'intégration de covariables environnementales et anthropiques — analyse explicative et non seulement descriptive ;
- Extension possible aux modèles multi-saisons pour le suivi des tendances (colonisation, extinction locale) ;
- Comparabilité entre sites utilisant le même protocole d'échantillonnage.

6. Limites et précautions

- Nécessite un plan d'échantillonnage structuré et une taille d'échantillon minimale — non applicable aux observations purement opportunistes ;
- Les hypothèses des modèles MacKenzie doivent être vérifiées ;
- Pour les espèces très mobiles, l'interprétation de ψ comme occupation vraie peut être biaisée (Parsons et al., 2017) — parler alors d'utilisation du site ;
- Compétences statistiques non triviales requises (familiarité avec R ou PRESENCE, compréhension de la sélection de modèle par AIC) ;
- L'occupation n'est pas directement convertible en densité — ne répond pas aux questions exigeant des chiffres d'abondance absolue (CITES, quotas).

7. Pour aller plus loin

- O'Brien & Strindberg (2015). Occupancy-related metrics for wildlife status assessment. Chapitre de référence dans l'ouvrage Protected Areas de l'IUCN.
- MacKenzie, Nichols, Royle, Pollock, Bailey & Hines (2017). Occupancy Estimation and Modeling (2e édition). Ouvrage de référence.
- MacKenzie, Nichols, Hines, Knutson, Franklin (2003). Estimating site occupancy, colonization, and local extinction when a species is detected imperfectly. Ecology
- WCS Working Paper 46. Occupancy methods. Guide pratique d'application.
- Parsons et al. (2017). Do occupancy or detection rates from camera traps reflect deer density ? Journal of Mammalogy — nuances importantes sur l'interprétation.
- Package R unmarked : <https://cran.r-project.org/package=unmarked>
- Logiciel PRESENCE (USGS) : <https://www.mbr-pwrc.usgs.gov/software/presence.html>
- Formations en ligne : cours AniMove, ESRI training modules sur l'occupancy modeling.

FICHE

5

Méthodes basées sur les traces (FMP)*Comptage standardisé de traces fraîches pour estimation de densité minimale en savane***1. Principe**

Les méthodes basées sur les traces mobilisent les empreintes laissées par les animaux sur les substrats de sol comme indicateur de leur présence et de leur activité. La méthode Formozov-Malyshev-Pereleshin (FMP), développée en ex-URSS pour le suivi des mammifères en milieu tempéré, a été adaptée aux milieux tropicaux et permet d'estimer une densité absolue minimale à partir du nombre de traces croisées par unité de distance, couplé à la distance journalière moyenne parcourue par chaque espèce.

La formule de base est : $D = N / (2 \times L \times d)$, où D est la densité estimée (individus/km²), N le nombre de traces fraîches croisées, L la longueur prospectée (km), et d la distance journalière moyenne parcourue par l'espèce (km/jour). Cette formule repose sur des hypothèses fortes (mouvement aléatoire, détection parfaite des traces) qui ne sont jamais strictement vérifiées dans la pratique — d'où l'interprétation des résultats comme une densité minimale conservatrice plutôt que comme une estimation absolue.

À retenir

La densité dérivée par FMP n'est pas une estimation absolue robuste au sens statistique strict. Elle doit être présentée explicitement dans les rapports comme une borne inférieure de la densité réelle. Elle reste néanmoins extrêmement utile pour le suivi des tendances dans le temps sur un même site et pour les comparaisons inter-sites appliquant le même protocole.

2. Objectifs et métriques

- Nombre de traces fraîches par 100 km prospectés, par espèce (indice direct) ;
- Densité minimale conservatrice via la formule FMP (individus/km²) lorsque la distance journalière est connue ;
- Tendances temporelles interannuelles des indices ou des densités dérivées ;
- Distribution spatiale des indices de présence sur le réseau de transects.

3. Contextes d'application

Déclinaison SAVANE

Les méthodes basées sur les traces sont particulièrement adaptées aux savanes d'Afrique centrale, où les substrats (terre, sable) conservent bien les empreintes pendant plusieurs jours. Elles constituent la méthode de référence du Niveau 2 en biome savanicole, documentée notamment par l'expérience du parc de Chinko (République centrafricaine).

Espèces cibles typiques : éléphants, buffles, hippotragues, élands, lions, hyènes, grandes antilopes. Les traces de carnivores et de grands herbivores sont généralement bien reconnaissables par des observateurs expérimentés. La distance journalière peut être estimée à partir de suivis télémétriques réalisés en collaboration avec des partenaires scientifiques, ou tirée de la littérature spécialisée.

Déclinaison FORÊT

En forêt dense, les substrats conservent généralement mal les empreintes (humidité, litière épaisse) et la méthode FMP n'est que rarement applicable. Des adaptations restent possibles le long des pistes forestières entretenues (pour les éléphants de forêt, les gorilles, les buffles de forêt). Dans la plupart des contextes forestiers, les transects recce avec comptage d'indices (non-FMP) ou les pièges photographiques restent préférables.

4. Protocole général opérationnel

Définir le réseau d'itinéraires stables

Identifier un réseau de transects et/ou de pistes stables d'une année à l'autre, couvrant les habitats représentatifs du site. Le réseau peut s'appuyer sur les pistes existantes pour la logistique (pistes carrossables, pistes patrouilles), mais il doit inclure une diversité suffisante d'habitats pour éviter un biais systématique. Géoréférencer l'ensemble du réseau.

Définir les espèces cibles et le seuil de fraîcheur

Sélectionner 5 à 10 espèces cibles pour lesquelles les traces sont reconnaissables sans ambiguïté par les observateurs. Définir un seuil temporel de fraîcheur des traces : typiquement moins de 24 heures, ou moins de 12 heures pour les espèces dont les traces s'effacent rapidement. Former tous les observateurs au même standard de reconnaissance.

Parcourir les itinéraires et enregistrer les traces fraîches

Prospection dans la même fenêtre saisonnière chaque année (typiquement en fin de saison sèche, quand les substrats sont les plus propices). Le parcours est réalisé à pied ou en véhicule selon les contextes, à vitesse constante et documentée. Chaque observation de trace fraîche est géoréférencée et documentée : espèce, nombre d'individus estimé, direction de déplacement, observations associées (crottes, restes alimentaires).

Estimer la distance journalière par espèce

La distance journalière moyenne (d) est le paramètre central du calcul FMP. Elle peut être obtenue par : (a) suivis télémétriques dédiés avec colliers GPS — solution la plus robuste, mais coûteuse et à construire en partenariat ; (b) valeurs issues de la littérature pour chaque espèce et écosystème — acceptable si la documentation est récente et contextualisée ; (c) estimations d'experts locaux. Documenter explicitement la source utilisée pour chaque espèce.

Appliquer la formule FMP

Pour chaque espèce : $D = N / (2 \times L \times d)$. N = nombre total de traces fraîches. L = longueur totale prospectée dans l'année (km). d = distance journalière moyenne (km/jour). Calculer l'intervalle de confiance par méthode de bootstrap ou équivalent. Présenter systématiquement le résultat comme une densité minimale, avec les hypothèses et la source de d.

5. Avantages

- Coût faible à modéré — mobilise les ressources humaines existantes (pisteurs expérimentés, écogardes) ;
- Méthode simple à comprendre et à communiquer aux gestionnaires ;
- Produit des densités minimales chiffrées mobilisables pour le rapportage aux bailleurs ;
- Adapté aux grandes superficies de savane où les protocoles lourds sont difficilement déployables ;
- Complémentaire du piégeage photographique — les deux méthodes couvrent des espèces partiellement différentes ;
- Valorise les savoir-faire traditionnels des pisteurs locaux.

6. Limites et précautions

- Les densités FMP sont des bornes inférieures, jamais des estimations exactes — présentation explicite impérative ;
- Les pistes et transects peuvent ne pas être représentatifs de l'ensemble du paysage (biais systématique) ;
- Certaines espèces évitent ou sont attirées par les pistes (biais comportemental) ;
- Peu adaptée aux paysages inondés ou aux surfaces qui marquent mal (roche affleurante, végétation dense) ;
- La qualité dépend fortement de l'expertise des pisteurs, qui peut varier entre équipes — formation et double-validation recommandées ;
- La distance journalière est souvent mal documentée localement — source d'incertitude majeure sur les densités estimées.

7. Pour aller plus loin

- Stephens, Zaumyslova et al. (2006). Estimating population density from indirect sign : track counts and the Formozov-Malyshev-Pereleshin formula. *Animal Conservation*, 9(3).
- Gielen et al. (2024). Monitoring wildlife abundance through track surveys : A capture-mark-recapture inspired approach to assess track detection.
- Bouché (2008). Méthodes d'inventaire de la grande faune à l'usage des ZCV. Référence adaptée au contexte centrafricain.
- Waller et al. (2024). Cameras or Camus ? Comparing Snow Track Surveys and Camera Traps. Éclairage comparatif — transférable conceptuellement.
- Formation des pisteurs : programmes proposés par les ONG spécialisées (Panthera, WCS, APN).

FICHE

6

Distance sampling (LTDS et CTDS)*Méthode de référence pour l'estimation de densité absolue en corrigeant la détectabilité***1. Principe**

Le distance sampling est la méthode statistique de référence pour estimer des densités absolues de population en corrigeant explicitement la diminution de la détectabilité avec la distance à l'observateur ou au capteur. Développée par Buckland et al. à partir des années 1990, elle repose sur un principe simple : plus un animal est éloigné de la ligne d'observation (ou du centre du champ d'un piège photographique), plus il a de chances de ne pas être détecté. La modélisation de cette fonction de détection ($g(x)$) permet de remonter à la densité vraie.

Deux grandes déclinaisons opérationnelles sont mobilisées en Afrique centrale : le Linear Transect Distance Sampling (LTDS), qui repose sur le parcours de transects linéaires par des observateurs, et le Camera Trap Distance Sampling (CTDS), qui applique le même cadre statistique aux détections par pièges photographiques. Le distance sampling est l'outil privilégié du Niveau 4 pour les espèces focales nécessitant une estimation d'abondance absolue.

2. Objectifs et métriques

- Densité absolue (individus/km²) pour une ou plusieurs espèces cibles ;
- Abondance totale (N) par multiplication de la densité par la surface d'étude ;
- Intervalles de confiance rigoureusement calculés (coefficients de variation typiques de 20-40 %) ;
- Fonction de détection $g(x)$ documentée, caractérisant la portée et les biais de la méthode ;
- Éventuellement : densité par strate (habitat, zone de gestion) si le plan d'échantillonnage est stratifié.

3. Contextes d'application

Le distance sampling est mobilisé pour les inventaires stratégiques quinquennaux (Niveau 4) lorsque les estimations d'abondance absolue sont explicitement requises. Il est particulièrement adapté aux espèces pour lesquelles la détection directe (visuelle ou indirecte par indices) est possible sur une plage de distances significative.

Déclinaison FORÊT

En forêt dense, le LTDS est appliqué principalement aux indices indirects : comptage de crottes d'éléphants de forêt, comptage de nids de grands singes (gorilles, chimpanzés, bonobos). La conversion en nombre d'individus passe par des facteurs de correction (taux de défécation, taux de construction de nids, taux de décomposition) dont la calibration est critique.

Le CTDS offre une alternative prometteuse en forêt, moins dépendante des facteurs de conversion indirects, mais nécessite une calibration du champ de détection de chaque caméra. Les travaux récents d'amélioration méthodologique (Morgan et al., 2024) introduisent des corrections pour le mouvement des animaux.

Déclinaison SAVANE

En savane, le LTDS est classiquement mobilisé pour les ongulés visibles (élands, hippotragues, buffles, antilopes de taille moyenne à grande), sur transects à pied ou en véhicule. Les conditions de visibilité longue distance permettent des plans d'échantillonnage efficaces. Les survols aériens systématiques constituent une déclinaison spécifique du distance sampling, adaptée aux très grandes surfaces et aux espèces détectables depuis les airs (voir Fiche Outil 9).

4. Protocole général opérationnel

Conception du plan d'échantillonnage

Un plan d'échantillonnage rigoureux est le préalable absolu au distance sampling. Il doit être conçu par un biométricien expérimenté et couvrir : le nombre de transects, leur longueur totale, leur distribution spatiale (aléatoire ou systématique), la stratification éventuelle. Objectif : obtenir au minimum 60 à 80 observations de l'espèce cible pour une estimation robuste. Pour les espèces rares, augmenter significativement l'effort.

Formation des observateurs

Pour le LTDS : formation des observateurs à l'identification des espèces, à l'estimation visuelle des distances perpendiculaires (ou mesure laser), à la documentation systématique des observations. Test de calibration interobservateurs avant la campagne. Pour le CTDS : calibration des distances dans le champ de chaque piège photographique (marquage de distances connues, mesure a posteriori).

Collecte sur le terrain

Pour le LTDS : parcours des transects à vitesse constante, en suivant strictement la ligne de transect. Pour chaque observation : espèce, nombre d'individus, distance perpendiculaire exacte, orientation, habitat. Pour le CTDS : déploiement standardisé des caméras, documentation des durées de pose, extraction systématique de la distance des animaux photographiés par rapport à la caméra.

Analyse statistique

Ajustement de la fonction de détection $g(x)$ via le logiciel Distance ou les packages R Distance et unmarked. Sélection du modèle de fonction de détection (uniforme, demi-normal, taux de détection)

par AIC. Vérification des hypothèses (détection certaine à la ligne, mesures exactes des distances, indépendance des observations). Estimation de la densité avec intervalle de confiance.

Interprétation et rapportage

Présentation systématique avec intervalle de confiance à 95 %, coefficient de variation, taille d'échantillon effective. Discussion explicite des hypothèses et de leurs violations éventuelles. Comparaison aux inventaires antérieurs uniquement si les protocoles sont strictement identiques.

5. Avantages

- Méthode de référence internationale pour l'estimation de densité absolue — reconnue scientifiquement ;
- Corrige explicitement la détectabilité — contrairement aux indices de type IKA ;
- Produit des intervalles de confiance rigoureux et interprétables ;
- Applicable à une large gamme d'espèces (observations directes ou indices) ;
- Permet le rapportage chiffré exigé par les bailleurs et les conventions internationales (CITES notamment) ;
- Le CTDS réduit fortement le biais de l'observateur par rapport au LTDS classique.

6. Limites et précautions

- Méthode coûteuse en logistique et en personnel formé — réservée aux inventaires stratégiques (Niveau 4) ;
- Nécessite un biométricien expérimenté à toutes les étapes (conception, analyse, interprétation) ;
- Les intervalles de confiance restent larges en forêt dense (CV de 30-50 % fréquents) ;
- Les hypothèses du modèle (détection certaine à la ligne, indépendance) doivent être vérifiées et ne le sont pas toujours dans les contextes opérationnels ;
- Pour les indices indirects (crottes, nids), les facteurs de conversion en nombre d'individus sont une source majeure d'incertitude ;
- Comparabilité entre inventaires successifs uniquement si protocoles strictement identiques — toute modification du design d'échantillonnage fragilise la continuité.

7. Pour aller plus loin

- Buckland, Rexstad, Marques & Oedekoven (2015). Distance Sampling : Methods and Applications. Springer. Ouvrage de référence.
- Morgan et al. (2024). Wildlife density estimation by distance sampling : A novel technique with movement compensation. Methods in Ecology and Evolution.
- Hedges (2012). Monitoring Elephant Populations and Assessing Threats. Manuel de référence pour le LTDS appliqué aux éléphants.

- Kühl et al. (2008). Best practice guidelines for surveys and monitoring of great ape populations. IUCN. Référence pour les grands singes.
- Laguardia et al. (2021). Assessing the feasibility of density estimation methodologies for African forest elephant at large spatial scales.
- Logiciel Distance : <http://distancesampling.org> — logiciel de référence, gratuit.
- Packages R : Distance, unmarked, DSsim (simulations).

FICHE

7

Capture-Marquage-Recapture (CMR/SCR)*Estimation d'abondance par identification individuelle — espèces à patronyme reconnaissable***1. Principe**

La Capture-Marquage-Recapture (CMR) est une famille de méthodes d'estimation d'abondance reposant sur l'identification individuelle des animaux. Le principe fondateur est simple : si un échantillon d'individus marqués est relâché puis qu'un second échantillon est capturé, la proportion d'individus marqués dans le second échantillon permet d'estimer la taille totale de la population. En Afrique centrale, le marquage physique est rarement mobilisé pour des raisons éthiques et logistiques ; la « capture » est souvent photographique, et l'identification repose sur les motifs naturels de l'animal (taches, cicatrices, ramures, formes faciales).

La Capture-Marquage-Recapture spatiale (SCR), développée à partir de 2008, intègre explicitement la dimension spatiale : chaque détection est associée à une position, et le modèle estime simultanément la densité et les domaines vitaux individuels. La SCR résout plusieurs limites de la CMR classique (fermeture de population, hétérogénéité spatiale de la capturabilité) et est devenue la méthode de référence pour les grands carnivores et les espèces à marquage naturel.

2. Objectifs et métriques

- Densité absolue (individus/km²) — métrique principale de la SCR ;
- Taille de population (N) estimée avec intervalle de confiance ;
- Taille et localisation des domaines vitaux individuels (CMR spatiale) ;
- Taux de survie, taux de recrutement si le dispositif est déployé sur plusieurs saisons ;
- Catalogues individuels documentant la structure démographique (âge, sexe, statut reproductif).

3. Contextes d'application

La CMR/SCR n'est applicable qu'aux espèces dont les individus sont identifiables de manière fiable. En Afrique centrale, les espèces-cibles principales sont :

Déclinaison FORÊT

Léopards (motifs de rosettes uniques), certains céphalophes à robe marquée (céphalophe à ventre blanc, céphalophe zébré), chimpanzés et gorilles (reconnaissance faciale individuelle). Les éléphants de forêt peuvent être suivis par SCR via géotypage non invasif à partir de collectes d'excréments (Laguardia et al., 2021).

Déclinaison SAVANE

Lions (morphologie faciale, cicatrices, motif des moustaches), léopards (rosettes), guépards (motif des taches). Les dispositifs de référence ont été récemment formalisés au Kenya (Wildlife Research and Training Institute, 2024) avec un manuel mobilisable pour les contextes d'Afrique centrale. Pour certaines grandes antilopes dotées de ramures asymétriques reconnaissables, l'identification peut être envisagée mais reste délicate sur le terrain.

4. Protocole général opérationnel*Constitution du catalogue individuel*

Préalable indispensable : constitution d'un catalogue photographique des individus connus, documenté par des photographies de qualité sous différents angles. Pour les léopards et autres espèces à motifs, la reconnaissance se fait typiquement sur les flancs gauche et droit (qui peuvent présenter des motifs différents). Des logiciels d'aide à l'identification existent (Hotspotter, Wild-ID, ExtractCompare) qui automatisent partiellement le processus.

Plan d'échantillonnage spatial

Pour la SCR, le plan d'échantillonnage couvre une surface supérieure au domaine vital moyen de l'espèce cible, avec une densité de stations suffisante (typiquement au moins 4 stations par domaine vital). Pour les léopards : grille de 40 à 80 stations sur 500 à 1 500 km² ; chaque station équipée de deux pièges photographiques en vis-à-vis pour capturer les deux flancs.

Collecte et identification

Durée de pose standard : 60 à 90 jours en une campagne unique (hypothèse de fermeture de population) ou plusieurs campagnes successives (modèles de population ouverte). Chaque photographie d'individu est comparée au catalogue existant et soit attribuée à un individu connu, soit intégrée comme nouvel individu. Validation systématique par un deuxième expert pour éviter les erreurs d'identification.

Analyse statistique

Utilisation des packages R secr ou oSCR pour la SCR, package RMark pour la CMR classique. Les modèles SCR ajustent simultanément la densité, la fonction de détection spatiale, et les covariables environnementales éventuelles. Les intervalles de confiance sont calculés par bootstrap ou maximum de vraisemblance.

5. Avantages

- Produit des estimations d'abondance et de densité scientifiquement robustes ;
- Intègre explicitement la dimension spatiale (SCR) — ne présuppose pas l'homogénéité de la capturabilité ;
- Fournit des informations démographiques (sex-ratio, structure d'âge) exploitables pour la gestion ;
- Les catalogues individuels constituent une ressource pérenne — exploitable sur plusieurs campagnes successives ;
- Non invasive lorsqu'elle repose sur la photo-identification — acceptabilité éthique élevée ;
- Applicable à des espèces rares et difficiles à suivre par d'autres méthodes.

6. Limites et précautions

- Strictement limitée aux espèces à marquage naturel reconnaissable ;
- L'identification individuelle reste subjective et sujette aux erreurs — nécessite une supervision experte systématique ;
- Coûts élevés : matériel (40 à 80 stations avec 2 caméras chacune), temps de traitement, expertise analytique ;
- Hypothèses du modèle (fermeture de population, indépendance des détections) doivent être vérifiées ;
- Pour les populations très petites ou très mobiles, les estimations peuvent rester imprécises ;
- Le génotypage non invasif, bien que prometteur (éléphants de forêt), reste coûteux et dépendant de partenariats laboratoires.

7. Pour aller plus loin

- Elliot, Gopalaswamy et al. (2017). Toward accurate and precise estimates of lion density. *Conservation Biology*, 31(4).
- Western, Elliot et al. (2022). Lions in a coexistence landscape : Repurposing a traditional field technique to monitor an elusive carnivore. *Biological Conservation*.
- Wildlife Research and Training Institute (2024). Lion monitoring handbook — Guidelines and protocols for monitoring Kenya's source populations. Manuel opérationnel détaillé.
- Laguardia et al. (2021). Nationwide abundance and distribution of African forest elephants across Gabon using non-invasive SNP genotyping. *Global Ecology and Conservation*.
- Efford (2023). secr : Spatially Explicit Capture-Recapture. Package R de référence.
- Sutherland et al. (2019). oSCR : open-population Spatial Capture-Recapture. Package R.
- Logiciels d'identification individuelle : Hotspotter, Wild-ID, ExtractCompare.

FICHE

8

Bioacoustique passive*Enregistrement continu des sons pour le suivi des espèces vocales et aériennes***1. Principe**

La bioacoustique passive consiste à déployer des enregistreurs autonomes (enregistreurs acoustiques passifs, ou ARU : Autonomous Recording Units) qui captent en continu les sons de l'environnement. Les enregistrements sont ensuite analysés pour identifier et quantifier les vocalisations d'espèces cibles. Cette approche complète le piégeage photographique en permettant de suivre des taxons qui lui échappent : oiseaux, primates arboricoles, chauves-souris, amphibiens, certains félins (rugissements de lion), éléphants (infrasons), insectes.

Les avancées récentes en intelligence artificielle, notamment les modèles de deep learning entraînés sur de larges bibliothèques sonores, ont considérablement amélioré la capacité à identifier automatiquement les espèces dans les enregistrements. Le projet CAAPP-Faune (Haurez et al., 2025) et les travaux de Dubus et al. (2026) sur le détecteur DeepForestSound ont démontré la faisabilité opérationnelle de cette approche dans les forêts tropicales d'Afrique centrale.

Message clé

La bioacoustique est le complément naturel du piégeage photographique pour atteindre une couverture taxonomique complète. Là où les pièges photo documentent les mammifères terrestres, les ARU documentent les taxons arboricoles, aériens et vocaux. L'intégration des deux outils est un élément clé du Niveau 5.

2. Objectifs et métriques

- Présence / absence d'espèces vocales ;
- Richesse spécifique élargie (incluant oiseaux, primates, chauves-souris) ;
- Indices d'activité vocale — taux de vocalisation par unité de temps ;
- Occupation modélisée applicable aux détections acoustiques ;
- Suivi des paysages sonores (soundscape ecology) — indicateur intégré de l'intégrité écologique ;
- Indicateurs de pression anthropique via la détection de bruits humains (tir d'arme, tronçonneuse, véhicule, voix).

3. Contextes d'application

Déclinaison FORÊT

La bioacoustique est particulièrement précieuse en forêt dense tropicale pour les taxons arboricoles et aériens qui échappent aux pièges photographiques : chimpanzés (pant-hoots), gorilles (poitrines frappées, vocalisations), singes arboricoles (cercopithèques, colobes), oiseaux de canopée et de sous-bois, chauves-souris, amphibiens.

Pour les éléphants de forêt, le suivi par infrasons constitue une approche spécifique développée par Wrege et collaborateurs (2017) à Dzanga-Sangha, capable de détecter les éléphants sur plusieurs kilomètres et de documenter les tendances à long terme.

Déclinaison SAVANE

En savane, la bioacoustique est mobilisée principalement pour les grands carnivores vocaux (lions, hyènes) et pour les oiseaux (voir également les estimations de la densité de certains carnivores par la méthode de call-up (Elliot et al., 2017)). Les chauves-souris, importantes indicatrices en savane arborée, sont également suivies par ultrasonique.

4. Protocole général opérationnel

Choix du matériel

Enregistreurs autonomes robustes en milieu tropical : Wildlife Acoustics SM4 / Song Meter Mini, AudioMoth (solution à bas coût), BAR-LT. Le choix dépend des taxons cibles (fréquences audibles vs ultrasons), de l'autonomie requise, et du budget. L'AudioMoth, développé par Open Acoustic Devices, offre un excellent rapport coût/efficacité pour le déploiement à grande échelle (50 à 100 USD par unité contre 500 à 1 000 USD pour les modèles professionnels).

Paramétrage et calendrier d'enregistrement

Paramétrage adapté aux taxons cibles : fréquence d'échantillonnage (44 kHz pour l'audible, 192 kHz pour les ultrasons), format de fichier (WAV non compressé pour l'analyse, FLAC pour l'archivage). Calendrier d'enregistrement programmable : continu, périodes d'activité (aube, crépuscule, nuit), ou cycles fixes (ex. 1 min toutes les 5 min). Le cycle fixe réduit le volume de données et l'autonomie requise.

Plan d'échantillonnage spatial

Déploiement sur grille systématique (cohérente avec la grille des pièges photographiques pour intégration) ou sur réseau stratifié selon les habitats. Durée de pose : 10 à 30 jours par station pour les analyses communautaires, plusieurs mois pour les suivis de tendances. Hauteur de pose : 2 à 5 mètres pour les enregistreurs généralistes, en canopée pour les taxons de canopée.

Analyse des enregistrements

Deux approches complémentaires : (a) détection ciblée d'espèces cibles via des détecteurs spécifiques (BirdNET, DeepForestSound pour l'Afrique centrale, Kaleidoscope pour les chauves-souris) ; (b) analyse de paysages sonores via des indices acoustiques (Acoustic Complexity Index, Normalized Difference Soundscape Index) pour une évaluation intégrée de la biodiversité sonore. Supervision humaine indispensable pour valider les identifications et traiter les faux positifs.

Gestion des données

Le volume de données est considérable (plusieurs téraoctets par campagne) et requiert une infrastructure de stockage adéquate. Le standard Camtrap DP est en cours d'extension à la bioacoustique via le projet Safe and Sound (Wiel et al., 2026), qui devrait faciliter l'interopérabilité entre sites.

5. Avantages

- Couvre les taxons invisibles aux pièges photographiques (arboricoles, aériens, amphibiens) ;
- Observation véritablement continue, non invasive, non perturbatrice ;
- Archive sonore pérenne — peut être réanalysée avec de nouveaux détecteurs au fil du temps ;
- Les enregistreurs à bas coût (AudioMoth) permettent un déploiement à grande échelle ;
- Détection possible des bruits anthropiques — indicateur de pression ;
- Complémentarité démontrée avec pièges photo et observations humaines (Zwerts et al., 2021).

6. Limites et précautions

- Volume de données élevé — infrastructure de stockage et de traitement requise ;
- Identification automatique par IA encore perfectible — taux de faux positifs variable selon les espèces ;
- Les bibliothèques de référence sonore pour l'Afrique centrale restent incomplètes — validation humaine indispensable ;
- Peu d'espèces de mammifères terrestres non primates produisent des vocalisations identifiables de manière routinière ;
- Le passage de l'activité vocale à la densité reste méthodologiquement complexe et non généralisable ;
- La pluie et le vent peuvent saturer les enregistrements et réduire la période d'analyse exploitable.

7. Pour aller plus loin

- Zwerts et al. (2021). Methods for wildlife monitoring in tropical forests : Comparing human observations, camera traps, and passive acoustic sensors. Référence comparative.

- Dubus et al. (2026). DeepForestSound : a multi-species automatic detector for passive acoustic monitoring in African tropical forests.
- Wrege et al. (2017). Acoustic monitoring for conservation in tropical forests : examples from forest elephants.
- Haurez et al. (2025). Appui au développement méthodologique du suivi de la faune à l'aide de Capteurs Acoustiques. Projet CAAPP-Faune.
- Wiel et al. (2026). Safe and Sound Project Report : Is Camtrap DP a suitable standard for (bio)acoustic data ?
- Matériel : AudioMoth (<https://www.openacousticdevices.info>), Wildlife Acoustics (<https://www.wildlifeacoustics.com>).
- Détecteurs IA : BirdNET (<https://birdnet.cornell.edu>), DeepForestSound, Kaleidoscope.

FICHE

9

Survol aérien*Inventaires à grande échelle pour les espèces détectables depuis les airs — savanes principalement***1. Principe**

Les survols aériens sont la méthode historique d'inventaire des grandes populations de faune en savane africaine. Ils consistent à parcourir un réseau de transects depuis un aéronef (avion léger Cessna ou hélicoptère), avec des observateurs comptant et localisant les animaux visibles. Développés à partir des années 1960 sous l'impulsion de Norton-Griffiths, ils ont constitué la méthode dominante d'estimation des populations d'éléphants, buffles et autres grands herbivores en Afrique.

Plus récemment, l'av nement des drones à haute résolution et des techniques de deep learning (Delplanque, 2024) a ouvert une nouvelle génération de méthodes aériennes, potentiellement plus économiques et plus sûres, particulièrement adaptées aux sites où les survols classiques sont devenus difficiles ou inabordables.

2. Objectifs et métriques

- Dénombrement exhaustif ou échantillonné des populations d'espèces visibles depuis les airs ;
- Densité et abondance absolue avec intervalles de confiance (via distance sampling aérien) ;
- Cartographie de la distribution spatiale des animaux et des activités humaines (feux, pâturage, campements) ;
- Documentation des carcasses et indices de mortalité — indicateur de braconnage ;
- Suivi des tendances à long terme (la longue histoire des survols aériens offre des séries temporelles exceptionnelles).

3. Contextes d'application

Déclinaison SAVANE

Les survols aériens sont la méthode de référence en savane ouverte pour les grandes espèces : éléphants, buffles, élands, hippopotames, girafes, zèbres. Le distance sampling aérien (variante spécifique) permet des estimations robustes d'abondance. Dans certains pays, ces survols sont encadrés par des textes réglementaires (Arrêté 221 du Cameroun pour les éléphants).

Les contextes sécuritaires ont cependant fortement complexifié les survols classiques dans plusieurs pays d'Afrique centrale (Tchad, RCA, nord Cameroun, nord RDC). Les drones à haute résolution couplés à l'analyse par deep learning offrent une alternative prometteuse, testée notamment dans le parc du Faro au Cameroun (Delplanque, 2024).

Déclinaison FORÊT

Les survols aériens sont peu utilisés en forêt dense du fait de la couverture végétale continue qui masque les animaux au sol. Quelques applications ciblées existent : survols des clairières (baïs) pour documenter les éléphants de forêt et les gorilles visibles en zones ouvertes, comptages de fumées indiquant les campements de braconnage, cartographie des pressions (exploitation forestière, défrichement).

4. Protocole général opérationnel

Conception du plan d'échantillonnage

Deux grandes approches : (a) dénombrement total (sur petites surfaces, espèces rares) ; (b) dénombrement par échantillonnage via transects parallèles à espacement défini (5 à 20 km selon la taille du site et l'espèce). Hauteur de vol typique : 90 à 120 m au-dessus du sol ; largeur de bande observée : calibrée à l'avance (typiquement 150 à 250 m de chaque côté de l'aéronef). Le plan est conçu par un biométricien en amont de la campagne.

Équipe et matériel

Équipe type pour un survol classique : un pilote qualifié, deux observateurs (un de chaque côté de l'aéronef), un opérateur de prise de notes et de GPS. Matériel : GPS de vol, jumelles, caméra haute résolution pour documentation. Pour les drones : opérateur certifié, batteries multiples, station de programmation des vols. Pour les approches deep learning : pipeline d'analyse préalablement validé sur des images de calibration.

Conduite du vol

Vitesse constante (typiquement 150-180 km/h pour Cessna, plus lente pour hélicoptère), altitude constante, lignes de vol suivies avec précision. Chaque observation comporte : espèce, nombre, localisation GPS du point de survol, comportement, habitat. Pour les groupes importants, photographie systématique pour comptage a posteriori. Les survols sont réalisés en début ou fin de journée pour optimiser la visibilité.

Analyse et estimation

Pour les survols classiques : utilisation du logiciel Distance pour l'analyse de distance sampling aérien, avec facteurs de correction (biais de disponibilité, biais de perception). Pour les drones + deep learning : exécution du modèle de détection sur les images, validation humaine des détections, comptage final. Les deux approches produisent des estimations de densité avec intervalles de confiance.

5. Avantages

- Couverture rapide de très grandes surfaces — inégalée par les méthodes terrestres ;
- Séries temporelles longues et comparables lorsque les protocoles sont reconduits à l'identique ;
- Adaptée aux grandes espèces emblématiques (éléphants, buffles) ;
- Documente simultanément la faune et les activités humaines (feux, campements, pistes illégales) ;
- Les drones réduisent le risque sécuritaire et le coût unitaire des survols ;
- Le deep learning permet un traitement rapide de grandes quantités d'images.

6. Limites et précautions

- Coûts élevés des survols classiques (location d'aéronef, carburant, pilote) — souvent plusieurs dizaines de milliers d'USD par campagne ;
- Risques sécuritaires majeurs dans plusieurs contextes d'Afrique centrale (conflits armés, zones non contrôlées) ;
- Biais de disponibilité et de perception importants, particulièrement pour les petites espèces et la végétation dense ;
- Inapplicable ou peu efficace en forêt dense ;
- Dépendance aux conditions météorologiques — fenêtres de vol réduites en saison humide ;
- Les drones restent limités en autonomie (30 à 60 min typiquement) et en rayon d'action — adaptés aux sites de taille modérée.

7. Pour aller plus loin

- Norton-Griffiths (1978). Counting animals. African Wildlife Leadership Foundation. Manuel fondateur, toujours une référence.
- Frederick, Moyer & Plumptre (2010). Aerial Wildlife Survey Manual. Wildlife Conservation Society. Manuel opérationnel de référence.
- Delplanque (2024). Integrating remote sensing and deep learning into aerial survey of large African mammals. Thèse ULiège.
- Bouché (2012). Inventaire aérien de l'écosystème W-Arly-Pendjari. Exemple méthodologique détaillé.

- Foguekem & Tchamba (2010). Aerial survey of Elephants in Waza National Park. Exemple camerounais.
- Logiciel Distance pour l'analyse de distance sampling aérien : <http://distancesampling.org>
- Opérateurs de référence en Afrique : African Parks Network, Wildlife Conservation Society, Save the Elephants.

PARTIE 4

Gestion des données et interopérabilité

Standards, souveraineté et partage pour un dispositif régional cohérent

4.1 Pourquoi un chapitre dédié aux données ?

Les résultats de l'enquête et des entretiens réalisés dans le cadre de cette mission convergent sur un constat partagé : la principale limite du biomonitoring en Afrique centrale ne tient pas au manque de données, mais à leur fragmentation, à leur faible capitalisation et aux difficultés d'accès. Des dispositifs de collecte existent dans la plupart des aires protégées appuyées par NaturAfrica ; ils produisent chaque année des volumes considérables d'observations, d'images de pièges photographiques, de traces, de points GPS. Une part significative de ces données reste cependant inexploitée — « données dormantes » faute d'infrastructure de traitement, d'analyse ou de partage.

La gestion rigoureuse des données est ce qui transforme une collecte isolée en un dispositif régional cohérent. Elle conditionne la comparabilité entre sites, la capacité à produire des indicateurs consolidés pour la COMIFAC et les bailleurs, et la pérennité des informations au-delà des rotations de personnel et des cycles de financement. Ce chapitre présente les standards, les outils et les principes qui sous-tendent une gestion soutenable des données de biomonitoring.

Message clé

Des données de qualité mais non archivées, non documentées ou non partagées ont une valeur limitée. À l'inverse, des données modestes mais bien structurées, bien documentées et accessibles peuvent avoir une valeur scientifique et opérationnelle considérable sur le long terme. L'enjeu est moins la sophistication des méthodes de collecte que la discipline de gestion des données produites.

4.2 Standards de collecte et d'échange de données

L'adoption de standards internationaux de données est la condition première de l'interopérabilité entre sites et avec les plateformes régionales et globales. Plusieurs standards pertinents coexistent, complémentaires selon le type de données produites :

Darwin Core (DwC)

Darwin Core est le standard de référence international pour les données d'observation d'espèces, porté par Biodiversity Information Standards (TDWG) et adopté notamment par le Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Il structure les observations autour d'une série de champs normalisés (nom scientifique, localisation, date, méthode d'observation, etc.) qui permettent l'agrégation et la comparaison entre sources hétérogènes. Toute donnée produite en biomonitoring devrait pouvoir être exportée au format Darwin Core pour publication sur GBIF ou toute plateforme compatible.

Camtrap DP

Camtrap DP (Camera Trap Data Package) est un standard spécifique aux données de piégeage photographique, développé dans le cadre du projet Agouti et formalisé par l'Union européenne via le TDWG. Il structure les données de pièges photographiques selon trois tables principales (déploiements, observations, médias) avec métadonnées normalisées. Son adoption est recommandée par le Rapport de mission (Recommandation 3) pour tout dispositif de photopiégeage à partir du Niveau 1.

À retenir

L'adoption du standard Camtrap DP ne doit pas attendre la disponibilité d'outils entièrement aboutis. Les principales plateformes de gestion d'images (Agouti, Wildlife Insights, Camelot) permettent déjà des exports conformes, et les développements en cours (projet Safe and Sound pour l'extension aux données bioacoustiques) consolideront progressivement l'écosystème. Commencer dès aujourd'hui avec Camtrap DP facilite l'adaptation future.

Autres standards pertinents

- Access and Benefit-Sharing (ABS) clearing-house : pour les données associées à des ressources génétiques, notamment les collectes d'ADN environnemental ou d'échantillons pour génotypage ;
- ISO 19115 : métadonnées géographiques, pertinentes pour les couches SIG (limites d'AP, grilles d'échantillonnage).

4.3 Architecture SERCA et convergence SMART-EarthRanger

L'annonce en 2025 de la création de la SMART-EarthRanger Conservation Alliance (SERCA), réunissant la SMART Partnership et la Allen Institute for AI (éditeur d'EarthRanger), constitue un jalon important pour la gestion des données de conservation en Afrique centrale. Cette convergence institutionnelle préfigure une convergence technique qui devrait à terme permettre une interopérabilité native entre les deux principales plateformes de gestion de données mobilisées dans la région.

Pour les gestionnaires d'aires protégées et les autorités nationales, cette évolution présente trois implications pratiques majeures : la fin de la contrainte « SMART ou EarthRanger » au profit d'une interopérabilité croissante ; la consolidation d'un écosystème unifié de modules complémentaires (surveillance, analyse spatiale, tableaux de bord) ; l'émergence possible d'une plateforme régionale commune pour la consolidation des indicateurs COMIFAC.

Dans l'immédiat, le choix entre SMART, EarthRanger ou une combinaison des deux reste un choix opérationnel, guidé par les compétences existantes, les outils déjà déployés dans le paysage, et les préférences des partenaires techniques. Les deux outils restent gratuits ou accessibles sous conditions partenariales, et leur adoption n'engage pas irréversiblement pour l'avenir.

4.4 Archivage long terme et souveraineté des données

L'archivage à long terme des données brutes (enregistrements originaux de pièges photographiques, fichiers acoustiques non traités, données GPS brutes, tableaux de collecte originaux) est une exigence souvent sous-estimée. Les jeux de données ont une durée de vie scientifique et opérationnelle potentiellement très longue : des archives de pièges photographiques des années 2010 sont aujourd'hui réanalysées avec des algorithmes d'intelligence artificielle qui n'existaient pas à leur

collecte, révélant des espèces initialement non identifiées ou des tendances invisibles aux premières analyses.

Règles pratiques d'archivage

- Sauvegarde systématique sur au moins deux supports indépendants, dont l'un en dehors du site (résistance au vol, incendie, destruction matérielle) ;
- Formats pérennes : privilégier les formats ouverts (TIFF ou JPEG pour les images, WAV ou FLAC pour le son, CSV ou Parquet pour les données tabulaires) plutôt que les formats propriétaires ;
- Documentation systématique : chaque archive est accompagnée de métadonnées (protocole de collecte, date, lieu, opérateur, version des outils) permettant sa réutilisation à horizon 10-15 ans ;
- Horizon minimal recommandé : 15 ans pour les données brutes, permanent pour les produits dérivés (rapports annuels, listes d'espèces) ;
- Révision périodique de l'intégrité des archives (vérification des sommes de contrôle, migration vers de nouveaux supports si nécessaire).

Souveraineté et gouvernance

La question de la souveraineté des données émerge avec acuité dès que les dispositifs de suivi s'appuient sur des plateformes hébergées en dehors du pays, ou que les données sont partagées avec des partenaires scientifiques internationaux. Plusieurs principes structurants peuvent guider la gouvernance :

- Les données primaires du biomonitoring sont la propriété de l'aire protégée (et in fine de l'État hôte), quels que soient les partenaires techniques associés à leur collecte ;
- Tout partenariat scientifique doit être formalisé par une convention précisant les rôles de chacun, les règles d'accès et d'usage, les règles de publication scientifique et les règles d'archivage ;
- Les données brutes, les jeux de données consolidés et les produits dérivés peuvent relever de régimes d'accès différenciés : accès restreint pour les données sensibles (localisation d'espèces menacées, indices de braconnage), accès ouvert pour les produits dérivés publiables ;
- Les plateformes cloud extérieures peuvent être utilisées comme infrastructure technique, à condition que les règles contractuelles préservent la propriété des données et permettent leur rapatriement sur demande ;
- Les autorités nationales (ministère en charge de l'environnement, agences dédiées) doivent être systématiquement associées à la gouvernance des données collectées sur leur territoire.

Acteur	Rôle dans la gouvernance	Responsabilités opérationnelles
Gestionnaire de l'AP	Propriétaire des données	Validation, accès, publication, décisions de partage
Équipe de biomonitoring	Producteur des données	Collecte, contrôle qualité, encodage, pré-analyse
Partenaire scientifique	Co-producteur analytique	Méthodologie, analyse avancée, publications scientifiques
Autorité nationale	Garant de la souveraineté	Agrégation nationale, rapportage international (CITES, CBD)
COMIFAC	Consolidation régionale	Agrégation sous-régionale, indicateurs Plan de Convergence
Bailleur / NaturAfrica	Financeur et utilisateur final	Rapportage NaturAfrica, indicateurs de résultat

4.5 Partage et plateformes régionales

Le partage des données de biomonitoring à l'échelle régionale est une condition nécessaire à la production d'indicateurs consolidés pour le Plan de Convergence de la COMIFAC et pour les rapports périodiques vers les conventions internationales (CBD, CITES). Plusieurs plateformes coexistent aujourd'hui, avec des vocations complémentaires :

OFAC — Observatoire des Forêts d'Afrique Centrale

Rattaché à la COMIFAC, l'OFAC est l'infrastructure régionale historique de consolidation des données sur les écosystèmes forestiers d'Afrique centrale, incluant les données sur la biodiversité et les aires protégées. Il produit les rapports périodiques "État des Forêts d'Afrique Centrale" (EDF), qui constituent la référence régionale, et travaille en réseau avec les Coordinations Nationales COMIFAC. L'OFAC reçoit essentiellement des indicateurs consolidés plutôt que des données brutes. Les protocoles standardisés de la présente Boîte à outils doivent produire des indicateurs directement alimentables à l'OFAC.

SI-FFAC — Système d'Information Régional sur la Faune des Forêts d'Afrique Centrale (projet)

Porté par le CIRAD et proposé en 2023 sous le patronage de la COMIFAC et en intégration à l'OFAC, le SI-FFAC est un projet visant spécifiquement la faune des concessions forestières et des aires protégées. Son ambition est de capitaliser les données d'inventaires accumulées depuis vingt ans et d'accompagner la transition vers les nouvelles technologies (photopiéage, bioacoustique, ADN environnemental). Son état d'avancement au moment de la rédaction de la présente mission reste à vérifier. S'il se concrétise, il constituerait le volet "faune" spécialisé complémentaire à l'OFAC.

GBIF et plateformes taxonomiques globales

Le Global Biodiversity Information Facility (GBIF) offre une infrastructure ouverte de publication et d'accès aux données d'observation d'espèces. La publication sur GBIF, sous réserve des règles de

gouvernance mentionnées plus haut, maximise la visibilité scientifique des données produites et leur contribution aux méta-analyses internationales. Les plateformes taxonomiques spécialisées (APES pour les grands singes, MoveBank pour les données de télémétrie) offrent des dépôts complémentaires pour des données spécifiques.

Plateformes de pièges photographiques

Wildlife Insights (Conservation International, Google, WWF, WCS) et Agouti (Université de Wageningen) sont les deux principales plateformes dédiées aux données de pièges photographiques. Elles offrent à la fois une infrastructure de gestion (encodage, identification assistée par IA) et des services de dépôt pour publication. L'adhésion à l'une ou l'autre peut être envisagée comme un service complémentaire aux outils locaux, avec les mêmes précautions de gouvernance.

4.6 De la donnée à la décision de gestion

La finalité de tout dispositif de biomonitoring n'est pas la production de données, mais l'éclairage des décisions de gestion. La boucle complète — collecte → traitement → analyse → interprétation → décision → action → nouvelle collecte — est ce qui définit un dispositif opérationnel. Plusieurs pratiques favorisent sa fluidité :

- Tableaux de bord simplifiés : outils de visualisation adaptés au profil des utilisateurs (carte des observations récentes, tendances annuelles des espèces cibles, hot-spots de pression anthropique), mis à disposition des équipes de gestion sans interface statistique complexe ;
- Rapports périodiques structurés : rapport trimestriel opérationnel court, rapport annuel de synthèse, rapport quinquennal stratégique — chaque document adapté à sa temporalité décisionnelle ;
- Restitutions internes régulières : présentation des résultats aux équipes de terrain, y compris aux pisteurs et éco-gardes — la boucle de rétroaction renforce la qualité de la collecte ;
- Ateliers d'interprétation collective : réunions annuelles avec gestionnaires, scientifiques et autorités pour discuter les tendances observées et ajuster les orientations de gestion ;
- Communication vers les bénéficiaires : vulgarisation des principaux résultats à destination des communautés riveraines et des autorités locales, dans les langues et les formats appropriés.

Message clé

La dernière étape du biomonitoring — la transformation des données en décisions de gestion effectives — est la plus critique. Elle dépend moins des outils techniques que de la qualité du dialogue entre scientifiques, gestionnaires et décideurs. Les dispositifs les plus aboutis techniquement peuvent rester stériles s'ils ne sont pas accompagnés d'une gouvernance de l'information qui fait circuler les résultats vers ceux qui doivent en tenir compte.

PARTIE 5

Annexes

Outils de référence et supports opérationnels

Annexe 1 — Arbre de décision détaillé pour la sélection du niveau

Cet arbre de décision détaillé guide le gestionnaire dans l'identification du niveau de biomonitoring adapté à la situation actuelle de son aire protégée. Il est à utiliser en complément de l'arbre simplifié présenté en Partie 1 (section 1.4). Chaque étape propose une question diagnostique à laquelle le gestionnaire répond par oui ou non ; les recommandations d'action sont codées par couleur selon le niveau concerné.

Le parcours de l'arbre est progressif : il faut satisfaire les conditions des étapes inférieures avant de progresser. Une AP qui ne remplit pas les conditions de l'étape 1 doit consolider le Niveau 0 avant de viser les niveaux supérieurs.

Étape	Question diagnostique	Si	Action recommandée
1	Existe-t-il un dispositif numérique de collecte standardisée (SMART, EarthRanger) déployé sur l'ensemble du territoire de l'AP, utilisé quotidiennement par les agents de terrain ?	Non	Déployer le Niveau 0 comme priorité absolue. Voir Fiche Niveau 0.
2	Le dispositif de collecte numérique produit-il un archivage centralisé et sécurisé des données (sauvegarde redondante, modèle de données standardisé) ?	Non	Compléter le Niveau 0 avant de progresser. Consulter la Fiche Outil 1 (SMART/EarthRanger).
3	L'AP dispose-t-elle d'au moins 5 pièges photographiques opérationnels déployables ?	Non	Rester en Niveau 0 consolidé. Mobiliser des financements pour acquérir des photopièges avant de progresser vers le Niveau 1.
4	Les pièges photographiques sont-ils déployés sur des sites stratégiquement sélectionnés (baïs, points d'eau, pistes à grands mammifères) avec protocole et paramétrage documentés ?	Oui	Le site est en Niveau 1. Consolider le protocole et viser la richesse spécifique locale. Voir Fiche Niveau 1.
5	Pour les sites de savanes : existe-t-il un réseau stable d'itinéraires de prospection de traces, parcouru annuellement dans la même fenêtre saisonnière, avec pisteurs formés ?	Oui	Le site atteint le Niveau 2 (version savane). Mobiliser la formule FMP pour les espèces cibles. Voir Fiches Niveau 2 et Outil 5.
6	Pour les sites forestiers : existe-t-il un réseau de transects recce répétés avec effort documenté et équipes qualifiées ?	Oui	Le site atteint le Niveau 2 (version forêt). Préparer la transition vers le Niveau 3 (grille systématique). Voir Fiche Niveau 2.
7	L'AP dispose-t-elle d'au moins 30 photopièges, d'une équipe SIG fonctionnelle et de compétences d'encodage et d'analyse (occupation naïve et modélisée) ?	Oui	Le site peut viser le Niveau 3. Adopter le protocole grille systématique. Voir Fiches Niveau 3, Outils 2, 3, 4.
8	Existe-t-il une demande institutionnelle ou bailleur explicite pour une estimation d'abondance absolue d'une ou plusieurs espèces focales (CITES, viabilité de population, rapport national) ?	Oui	Planifier un inventaire stratégique quinquennal de Niveau 4, en partenariat avec une équipe scientifique. Voir Fiche Niveau 4.

Étape	Question diagnostique	Si	Action recommandée
9	L'AP a-t-elle vocation de site pilote régional, disposant d'un partenariat scientifique structuré de long terme et d'un financement pluriannuel sécurisé ?	Oui	Envisager le Niveau 5 en appui d'un dispositif intégré de recherche appliquée. Voir Fiche Niveau 5.

Message clé

Les niveaux sont progressifs et non exclusifs. Une aire protégée ayant atteint le Niveau 3 continue à mettre en œuvre les pratiques des Niveaux 0 et 1. L'arbre de décision aide à identifier l'effort méthodologique principal à cibler, pas à désigner un niveau unique à l'exclusion des autres.

Annexe 2 — Lexique opérationnel simplifié

Ce lexique opérationnel reprend les principaux termes techniques utilisés dans le manuel, dans une formulation accessible à tous les gestionnaires et équipes de terrain, quel que soit leur niveau de formation scientifique. Une version plus technique est disponible dans l'Annexe 2 du Rapport de mission (Livrable 1) pour les publics familiarisés avec la terminologie biostatistique.

Abondance

Nombre total d'animaux d'une espèce dans une zone donnée. Répond à la question : combien d'animaux y a-t-il ?

Difficile à estimer précisément sur de grandes surfaces. Rarement accessible en dehors du Niveau 4.

Abondance absolue

Estimation chiffrée du nombre réel d'animaux (par exemple : « il y a environ 300 buffles dans le parc »).

Méthodes coûteuses et complexes, rarement applicables partout. Relève des Niveaux 4 et 5.

Abondance relative

Indicateur qui permet de dire s'il y a plus ou moins d'animaux, sans connaître leur nombre exact. Par exemple : plus d'observations par km, plus de photos par caméra, plus de traces.

Très utilisée pour suivre les tendances dans le temps sur un même site.

Densité

Nombre d'animaux rapporté à une surface donnée (exemple : 2 éléphants par km²).

Permet de comparer des zones entre elles, mais difficile à mesurer avec précision.

Distribution

Zones où l'espèce est présente ou absente. Répond à la question : où est l'espèce ?

Ne dit pas combien il y a d'animaux.

Carte de distribution

Carte montrant où une espèce est observée ou détectée. Sert à visualiser la répartition spatiale.

Peut être basée sur des observations, des photos de caméras ou des traces.

Occupation (occupancy)

Indicateur qui mesure la probabilité qu'une espèce utilise un site, en tenant compte du fait qu'on peut ne pas la détecter même si elle est présente. Exprimée entre 0 et 1 (ou 0 à 100 %).

Très utile pour comparer des zones ou suivre l'évolution dans le temps. Colonne vertébrale méthodologique du dispositif harmonisé.

Probabilité d'occupation

Chance qu'une espèce soit présente dans une zone donnée. Par exemple : 0,7 = forte probabilité de présence.

Ne correspond pas au nombre d'animaux. Indicateur de gestion et de zonage.

Déteçtabilité

Probabilité de détecter un animal quand il est présent. Varie selon l'espèce, la méthode utilisée, la végétation, l'effort de terrain.

Explique pourquoi on ne voit pas toujours un animal même s'il est là. Paramètre central des modèles d'occupation.

Présence / absence

Information simple indiquant si l'espèce a été détectée ou non lors d'un passage.

Attention : absence de détection ≠ absence réelle. Il faut plusieurs passages pour confirmer une absence.

Indice

Mesure indirecte utilisée pour suivre la faune (traces, photos de caméras, observations par km).

Sert surtout à comparer dans le temps ou entre zones, pas à chiffrer une population.

Taux de rencontre

Nombre d'animaux, de traces ou d'observations par unité d'effort (exemple : 3 éléphants observés par 10 km).

Indicateur simple et rapide, mais ne corrige pas la détectabilité.

Taux de capture (caméras)

Nombre de photos ou événements enregistrés par caméra sur une période donnée (exemple : 20 photos / 100 jours-pièges).

Indicateur d'activité, pas d'abondance.

Richesse spécifique

Nombre total d'espèces documentées dans une zone ou à partir d'un dispositif de suivi.

Indicateur simple de diversité de la communauté. Peut être comparée entre sites si l'effort est comparable.

Suivi de tendance

Comparaison d'un indicateur dans le temps pour voir si une population augmente, diminue ou reste stable.

Usage central en gestion adaptative. Exige un protocole stable dans le temps.

Activité circadienne

Répartition des observations d'une espèce au cours de la journée (24 heures).

Indicateur précieux : un changement dans le profil circadien (éléphants devenus nocturnes par exemple) traduit souvent une pression anthropique croissante.

Grille d'échantillonnage

Découpage de l'aire protégée en cellules régulières (typiquement 6×6 km), chaque cellule recevant un ou plusieurs dispositifs de mesure.

Garantit une couverture homogène du site et évite les biais de sélection.

Transect

Itinéraire linéaire, géoréférencé et parcouru selon un protocole standardisé, sur lequel sont enregistrées les observations ou les indices.

Utilisé pour les comptages de traces (Niveau 2 savane), les transects recce (Niveau 2 forêt) et le distance sampling (Niveau 4).

Fenêtre saisonnière

Période de l'année pendant laquelle une campagne de suivi est réalisée. Typiquement en saison sèche pour la plupart des dispositifs en Afrique centrale.

Toute campagne de suivi doit être réalisée dans la même fenêtre saisonnière chaque année pour permettre la comparaison temporelle.

Effort d'échantillonnage

Intensité du suivi réalisé : nombre de km parcourus, jours-pièges effectifs, heures d'écoute. Il faut documenter précisément l'effort pour interpréter correctement les résultats.

Un indice n'a de sens que rapporté à son effort. L'effort inconnu ou variable est la principale source d'erreur dans les suivis opportunistes.

Annexe 3 — Espèces indicatrices recommandées par biome

Cette annexe propose une liste indicative d'espèces de référence recommandées pour le biomonitoring harmonisé en Afrique centrale. Elle n'est pas exhaustive et n'a pas vocation à imposer une liste unique : chaque aire protégée sélectionnera les espèces effectivement présentes sur son territoire et pertinentes au regard de ses enjeux de gestion. La liste ci-dessous vise à orienter le choix vers des espèces qui présentent un bon compromis entre intérêt de conservation, détectabilité par les méthodes standards et valeur indicatrice pour la gestion.

Déclinaison FORÊT

Espèces-phares recommandées pour le suivi standard en forêt dense du Bassin du Congo :

Grandes espèces emblématiques

- Éléphant de forêt (*Loxodonta cyclotis*) — UICN Critically Endangered (CR) depuis 2021, reconnu comme espèce distincte de *L. africana* la même année, CITES Annexe I ; indicateur clé de l'intégrité paysagère ; suivi par pièges photographiques (Niveaux 1-3), comptage de crottes LTDS (Niveau 4), génotypage non invasif (Niveaux 4-5) ;
- Gorille des plaines de l'Ouest (*Gorilla gorilla gorilla*) — UICN Critically Endangered (CR), CITES Annexe I. Gorille de Grauer (*Gorilla beringei graueri*), sous-espèce du Gorille de l'Est, UICN Critically Endangered (CR) depuis 2016 suite à un déclin de 77 % en 20 ans, CITES Annexe I ; suivi par comptage de nids LTDS (Niveau 4), photopiégeage en zones ouvertes ;
- Chimpanzé (*Pan troglodytes*) — UICN Endangered (EN), CITES Annexe I. Bonobo (*Pan paniscus*) — UICN Endangered (EN), CITES Annexe I ; suivi par comptage de nids, bioacoustique (vocalisations), photopiégeage au sol ;
- Léopard (*Panthera pardus*) — UICN Vulnerable (VU) globalement (réassestement 2024) ; population ouest-africaine reclassée Endangered (EN) en octobre 2025 ; CITES Annexe I ; suivi par photopiégeage + identification individuelle (CMR/SCR) ;
- Bongo (*Tragelaphus eurycerus eurycerus*) — UICN Near Threatened (NT) avec tendance décroissante, CITES Annexe III ; espèce-phare pour certains paysages forestiers ; suivi par photopiégeage et transects.

Espèces de la communauté ordinaire

- Céphalophes (*Cephalophus* spp.) — plusieurs espèces indicatrices de l'intégrité forestière (céphalophe bleu, céphalophe de Peters, céphalophe à bande dorsale noire, etc.) ;
- Potamochère (*Potamochoerus porcus*) — espèce commune, bon indicateur de la structure de communauté ;
- Sitatunga (*Tragelaphus spekii*) — indicateur des milieux humides forestiers ;
- Athérure africain (*Atherurus africanus*) — espèce commune aux pièges photographiques, utile pour les analyses de richesse.

Déclinaison SAVANE

Espèces-phares recommandées pour le suivi standard en savane et paysages de transhumance d'Afrique centrale :

Grandes espèces emblématiques

- Éléphant de savane (*Loxodonta africana*) — UICN Endangered (EN) depuis 2021, CITES Annexe I pour les populations d'Afrique centrale ; suivi par survols aériens (Niveau 4), transects traces + FMP (Niveau 2) ;
- Lion (*Panthera leo*) — UICN Vulnerable (VU) globalement (réassestement 2024) ; populations d'Afrique de l'Ouest et du Centre en déclin plus sévère ; CITES Annexe II ; suivi par call-up, photo-identification individuelle (CMR/SCR), transects traces ;
- Guépard (*Acinonyx jubatus*) — UICN Vulnerable (VU) globalement ; sous-espèce nord-ouest africaine (*A. j. hecki*), présente dans certains paysages sahélo-soudaniens d'Afrique centrale (Tchad, RCA), Critically Endangered (CR) ; CITES Annexe I ; suivi par photo-identification individuelle ;
- Girafe du Nord (*Giraffa camelopardalis*, au sens de la reclassification UICN d'août 2025 qui reconnaît désormais quatre espèces distinctes) — populations d'Afrique centrale relevant principalement de la sous-espèce Girafe du Kordofan (*G. c. antiquorum*), présente au Tchad, nord Cameroun et RCA, classée Critically Endangered (CR) à l'assessment 2018 ; la Girafe d'Afrique de l'Ouest (*G. c. peralta*) appartient à la même espèce ; CITES Annexe II depuis 2019 ; suivi par survols aériens, photo-identification individuelle ;

Ongulés indicateurs

- Buffle (*Syncerus caffer*) — UICN Near Threatened (NT), non listé CITES ; espèce indicatrice des grands ongulés ; suivi par survols aériens, transects traces ;
- Hippotrague (*Hippotragus equinus*) — UICN Least Concern (LC) globalement mais populations d'Afrique centrale et occidentale en déclin ; espèce sensible aux pressions ; suivi par transects traces et visuels ;
- Éland de Derby (*Taurotragus derbianus gigas*) — UICN Vulnerable (VU) ; sous-espèce présente dans les savanes d'Afrique centrale (Cameroun, RCA, Tchad) ; la sous-espèce occidentale (*T. d. derbianus*) est Critically Endangered ; suivi par photopiéage et observations ciblées ;
- Damalisque (*Damaliscus lunatus*) — UICN Least Concern (LC) globalement ; la sous-espèce occidentale (*D. l. korrigum*), présente au Tchad et Cameroun, est classée Vulnerable (VU) ; ongulé indicateur de la composition de la communauté ;
- Cobe de Buffon (*Kobus kob*) — UICN Least Concern (LC) globalement mais populations ouest-africaines en déclin ; espèce grégaire typique des savanes humides.

Carnivores indicateurs

- Hyène tachetée (*Crocuta crocuta*) — UICN Least Concern (LC) mais populations en déclin dans plusieurs pays, non listée CITES ; suivi par photopiégeage nocturne, bioacoustique ;
- Léopard (*Panthera pardus*) — également présent en savane ; UICN Vulnerable (VU), CITES Annexe I (voir mention Déclinaison FORÊT pour les détails) ; photo-identification ;
- Lycaon (*Lycaon pictus*) — UICN Endangered (EN), environ 6 600 individus adultes restants, populations d’Afrique centrale très fragmentées ; non listé CITES ; suivi par photopiégeage et photo-identification.

Message clé

Le choix des espèces indicatrices doit être ajusté à la réalité écologique de chaque AP. Une espèce absente du territoire ne peut servir d'indicateur. Une espèce présente mais très discrète ou en très faible densité sera un indicateur peu sensible aux tendances. Privilégier un nombre limité (5 à 10) d'espèces indicatrices bien choisies et suivies rigoureusement, plutôt qu'une longue liste aux données fragmentaires.