

WP1 Parkland dynamic drivers - Task 1.1 at landscape scale
D 1.1.1. Typologie et évolution des parcs à l'échelle du paysage (80% réalisé)

A l'échelle régionale, nous avons étudié l'évolution du couvert végétal au cours des 50 dernières années en utilisant la télédétection à basse résolution (données Landsat). Mais la résolution n'est pas suffisante pour discriminer les arbres dans les champs, d'où les parcs et les "non parcs".

Pour la période la plus récente, nous avons utilisé les données Sentinel en raison de leur bonne résolution spatiale (10 mètres pour certaines bandes). Avec les données Sentinel, nous avons développé une nouvelle méthode pour qualifier la structure et l'état actuel du parc. (Hamzaoui et al, 2019 ; Serpantié et al, 2019).

D1.1.1.1 - Burkina-Faso

D1.1.1.1.1 Transect Kamboinsé –Yilou (L. Ouedraogo, O. Kaboré, J-S Dabone)

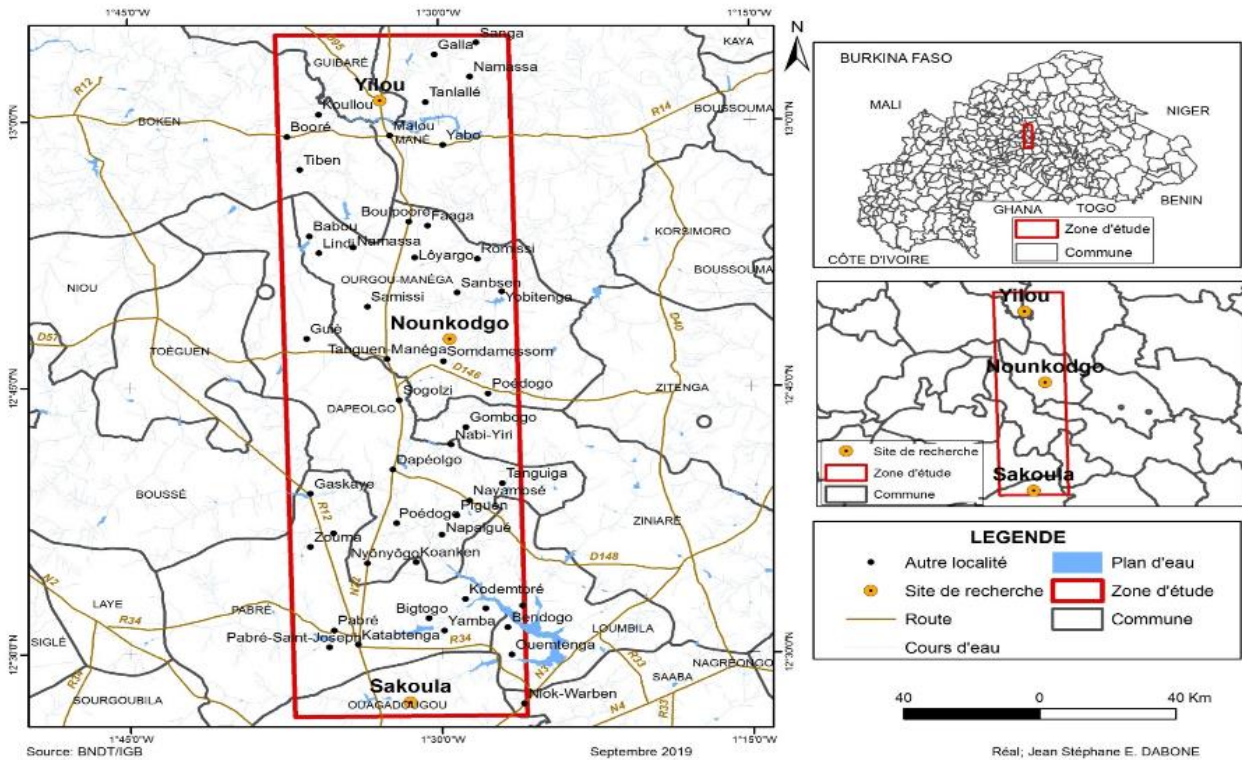


Fig. 1. Le transect Kamboinsé-Yilou, Burkina Faso (Dabone, 2020)

Méthodologie : la cartographie par la méthode de seuillage s'est appuyée sur l'utilisation des images Sentinel-2B. Cette phase s'est opérée à partir de la quantification du taux de recouvrement des arbres par calcul du *NDVI* qui permet de mettre en évidence l'activité chlorophyllienne des espèces végétales de la zone d'étude. Dans un premier temps des placettes circulaires d'un diamètre de 50 m ont été créées le long des mini-transects. Une sortie de terrain pour la mesure du houppier des espèces ligneuses contenues dans les cercles a été effectuée par la suite. Ces mesures ont permis de calculer le taux de recouvrement des espèces ligneuses par parcelles circulaires et par mini-transects. Une fois cette étape terminée a été effectué le calcul par télédétection, du *NDVI* de la zone d'étude. Les images choisies pour cette opération datent de la période de saison sèche (mois de mars) pour permettre une meilleure discrimination entre les espèces herbacées et les espèces ligneuses. Le *NDVI* se calcule par combinaison de bandes spectrales suivant la formule : $NDVI = \frac{PIR-R}{PIR+R}$. La cartographie des parcs agroforestiers en 2018 s'est effectuée en utilisant le pourcentage de recouvrement des cellules, calculé et consigné dans la table attributaire par la formule: $TxRec = \frac{\$area}{100}$. Ainsi, pour une couverture de 0 à 2%, la classe correspond aux herbacés. Entre 2 et 30% la classe correspondante est un parc agroforestier et au-delà de 30%, il s'agit d'une végétation dense. Suivant la méthodologie de classification adoptée, les parcs agroforestiers occupent 40% de la zone d'étude soit 57727 ha. L'unité dominante est celle des ligneux denses avec plus de 46% d'occupation soit 65983 ha et ensuite les herbacées avec 13% d'occupation soit 18621. Les plans d'eau sont la dernière unité avec 1% de couverture. La vérification de la cartographie permet de se rendre compte du taux d'erreur dans le processus cartographique. Les mini-transects de Nounkodgo et Kamboinsé enregistrent des taux moyens d'erreur de 4% chacun et 1% pour celui de Yilou. L'analyse de la dynamique spatiale des parcs agroforestiers du transect Kamboinsé-Yilou s'est appuyée sur des images Landsat TM pour 1986 et LANDSAT OLITIRS pour 2018. Une mission de terrain a été effectuée pour la reconnaissance des unités d'occupation des terres à partir des ROI (Region of Interest). Les images ont subi une correction atmosphérique et leur classification

(supervisée) a été effectuée en utilisant l'algorithme de maximum de vraisemblance. Cette classification a permis d'estimer les parcs agroforestiers à 28833 ha en 1986 soit 20,1% de la superficie de la zone d'étude, avec une précision de 93%. En 2018, la superficie couverte par les parcs agroforestiers était de 21277 ha soit 14,8% de la zone d'étude avec une précision de 96%. Il ressort de l'analyse que les parcs agroforestiers du transect ont régressé de 7556 ha. Nous avons ensuite essayé de rechercher les déterminants de cette évolution, entre facteurs climatiques et facteurs anthropiques.

Résultats : Les parcs agroforestiers subissent une dégradation continue due à des facteurs anthropiques et péjorée par les facteurs climatiques. La mise en place d'un système de gestion (AMC-RS, application de gestion web-cartographique) permet d'optimiser le suivi et la gestion.

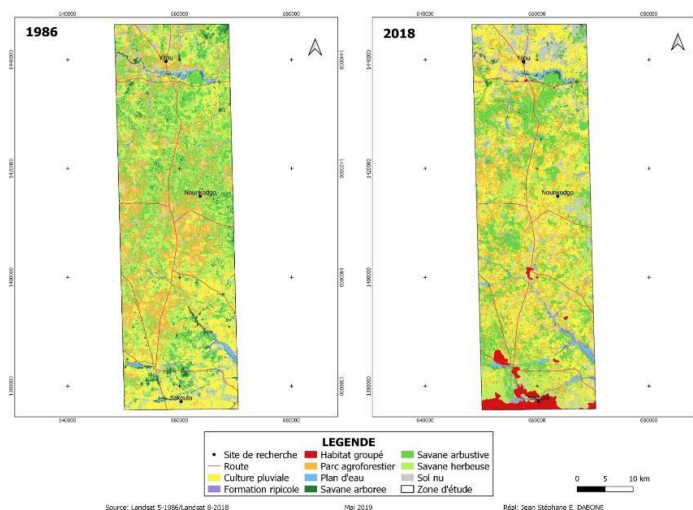


Fig. 2. Dynamique de l'occupation du sol entre 1986 et 2018 sur le transect Kamboinsé-Yilou (Dabone, 2020).

Culture pluviale: +64 %

Sol nu: +143 %

Parcs agroforestiers: -26 %

Savane arborée: -71%

Savane arbustive: -18 %

Savane herbeuse : -56%

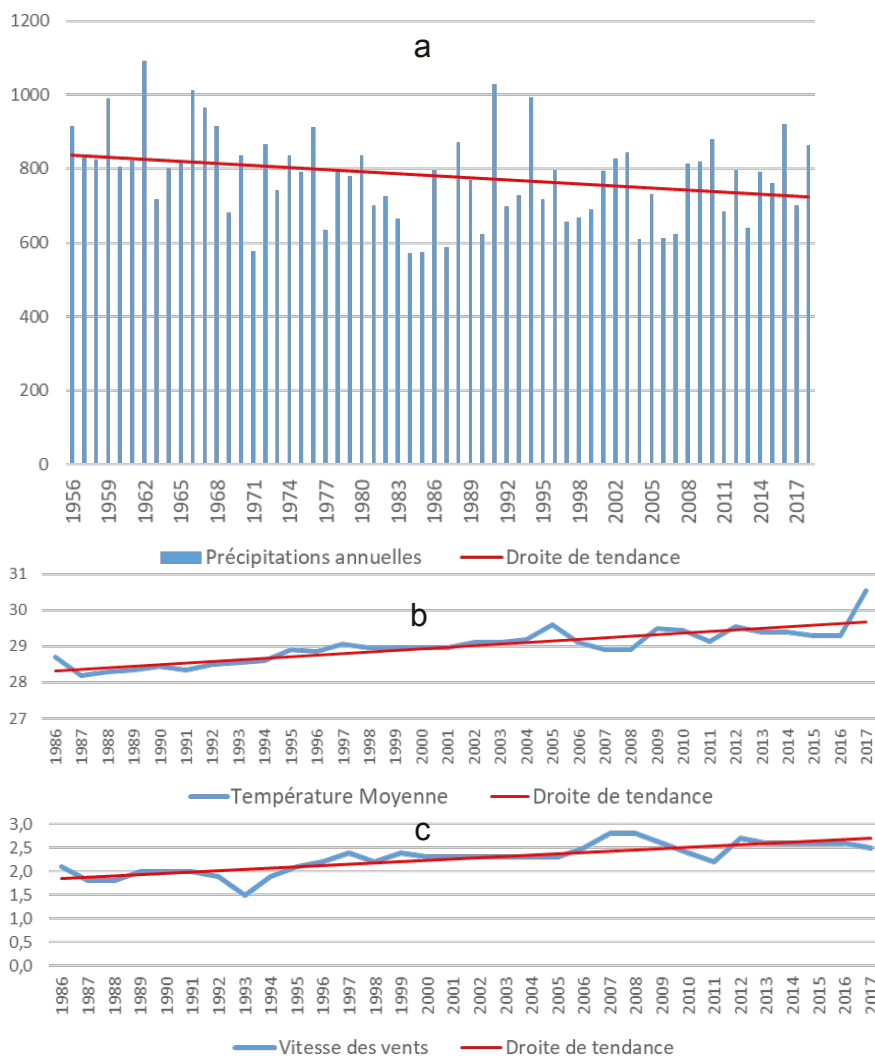


Fig. 3. Les facteurs climatiques de la dynamique observée (Dabone, 2020)
 baisse des précipitations (a)
 hausse des températures (b)
 augmentation des vents (c)



Fig. 4. Sakoula : étalement urbain et régression du parcarboré entre 2009 et 2018 (Dabone, 2020)

Les facteurs anthropiques de la dynamique observée sont liés à l'extension des terres agricoles, la diminution des jachères et l'extension de l'occupation urbaine (Fig. 4). Le bois est utilisé comme - source d'énergie, dans - la construction de hangars et - la confection de chaises, - le soutien des puits creusés à la recherche d'or. L'orpaillage dans la zone de Yilou impacte négativement les parcs agroforestiers.

Conclusion: Les parcs agroforestiers le long du transect Kamboinsé-Yilou subissent une dégradation continue due à des facteurs anthropiques et péjorée par les facteurs climatiques. La mise en place d'un système de gestion (AMC-RS, application de gestion web-cartographique) permet d'optimiser le suivi et la gestion.

D1.1.1.1.2 Transect Koumbia-Dano (*L. Ouedraogo, O. Kaboré, B. Bastide, M. Loireau, G. Serpantié, J-F Girres*)

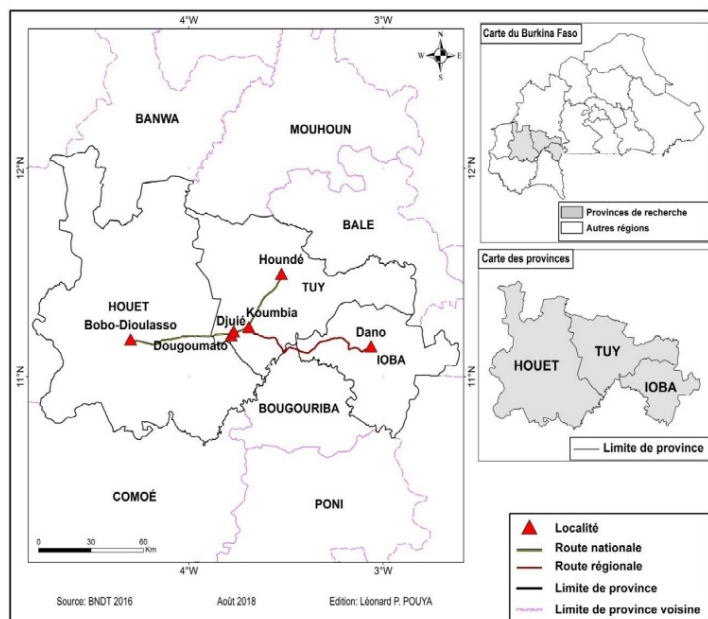


Fig. 5. Le transect Koumbia-Dano, Burkina Faso

Méthodologie : Acquisition d'une image Sentinel de moyenne résolution (10 m) de mars 2019 (état actuel) pour la cartographie de la densité des parcs sur le transect Koumbia-Dano. Les images du satellite Landsat TM ont été acquises à trois dates (1986, 2000, 2020) et à deux saisons (fin de la saison des pluies, milieu de la saison sèche). Cette acquisition de données Landsat vise à classer l'imagerie à basse résolution pour les changements de densité de la végétation au cours des 40 dernières années.

La classification automatique de la radiométrie des images de 2020 (canaux 3, 4, 5, deux dates regroupées dans un seul empilement) en 28 classes est utilisée pour identifier des points pour les relevés au sol (5 points par classe radiométrique), et enfin associer des classes de radiométrie dans certaines classes de couverture (pures ou composites). La carte finale est évaluée au moyen de minitranssects.

Les anciennes images seront classées par une méthode supervisée selon la définition spectrale des classes de couverture 2020 et la validation sur les photographies aériennes

- Evaluation des parcs à l'échelle région par l'utilisation d'images Sentinel achevée en distinguant les unités : pas d'arbres, parc dense, parc peu dense, couvert ligneux dense.
- Adaptation des nomenclatures classiques mais anciennes (Colloque Yangambi 1956) qui déclinent les « savanes » (arborées, arbustives,

herbeuses) ou transformations récentes des milieux (tendance à l'embuissonnement, raréfaction des graminées pérenne. L'inventaire de terrain a été réalisé sur 14 "minitranssects" au sein des sites du projet, pour saisir *in situ* la diversité du parc sur des transects paysagers (distance au village, toposéquences) et des transects prenant en compte la diversité sociale (transects perpendiculaires aux transects paysagers, ou traversant différentes familles et quartiers) dans chaque site de Ramses. Une mission exploratoire multidisciplinaire collective sur le transect régional a été réalisée.

Résultats : il existe une très bonne adéquation entre les stations au sol de chacun des 4 "minitranssects" et la carte réalisée avec l'imagerie Sentinel (Fig. 6.). Un paysage contrasté entre les zones sans ligneux (savanes herbacées sur les plateaux, parcs dégradés le long des minitranssects A, B et C) et les zones dépassant 25% de couverture ligneuse (forêts de plaine au milieu, et arbustes de colline, à l'ouest et au nord, minitranssect D) A gauche, en bas, le minitranssect C se termine par une zone de parc dégradé (en blanc). Un agriculteur agit localement pour la densification active du parc (quatre cercles verts).

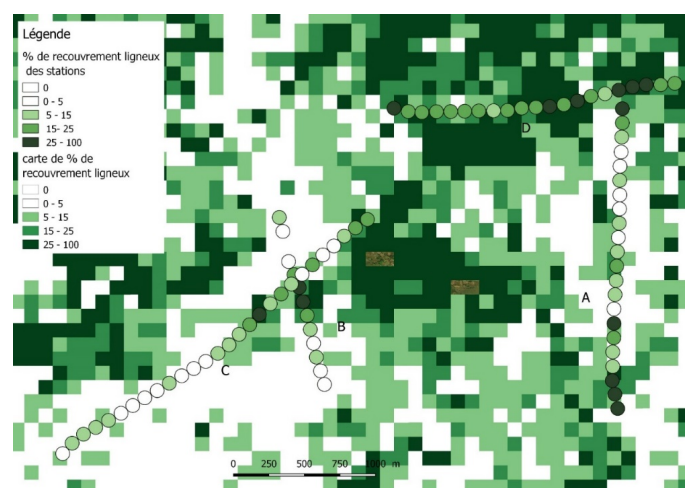


Fig. 6. Cartographie du parc de Lofing et de 4 minitranssects (transect KD). Un carré ou un cercle = 1 ha

La carte (Fig. 7) montre un paysage avec une forte densité de végétation ligneuse (forêts claires, arbustes, savanes arborées) en zone protégée ou non (terres du Pougouli). Les territoires agricoles de l'Est (terres du Dagara) et de l'Ouest (terres des Bwa/Mossi) sont riches

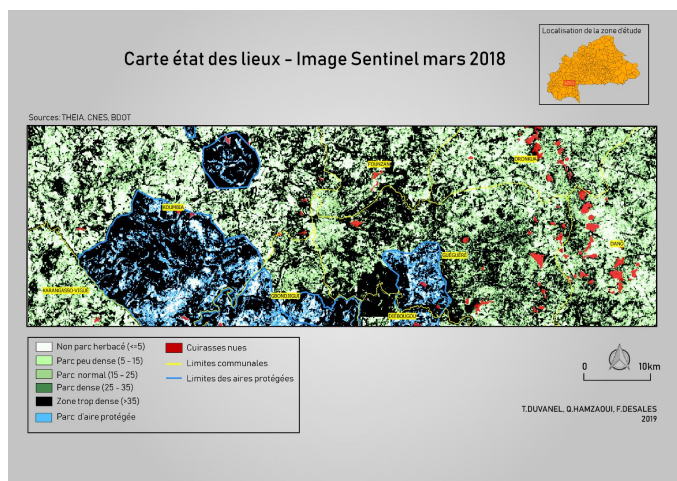


Fig. 7. Carte de l'état des lieux du couvert végétal en 2018, transect de Koumbia-Dano

en parcs. Mais les paysages diffèrent d'une zone à l'autre.

- A l'ouest, dans la zone Bwa à faible densité de population, un paysage très contrasté entre des parcs dégradés ou en friche pour les grandes parcelles de coton/maïs motorisés et des champs parsemés d'arbustes.

- A l'est, dans la zone de forte densité de population de Dagara, la végétation est moins dense et il y a plus de parcs. Les parcs dégradés sont plus diffus. La zone de Guéguéré comporte des parcs plus denses sur des sols argileux, mais on constate aussi la présence de nouveaux parcs dégradés dans une zone protégée "gérée" par l'AVV (Aménagement des Vallées de Volta) en 1970 pour l'installation des migrants provenant de zones très densément peuplées.

Pour l'approche diachronique d'évolution du couvert végétal, une utilisation de Landsat TM à basse résolution (30m) et 3 dates est en cours pour cartographier l'évolution de la densité de la végétation selon certaines hypothèses (processus de défrichement progressif, expansion des terres ouvertes, densification des terres non cultivées) à l'échelle régionale, mais aussi locale (étude des terroirs). Une liste adaptée des unités de couverture végétale est également en cours de constitution, basée d'une part sur les unités foncières officielles de la BDOT (tableau 1.) et d'autre part sur les stations d'observation au sol des minitranssects (Fig. 8). On constate une inadéquation entre la liste de la

Tableau 1. Nomenclature de végétation à partir du guide technique de la BDOT (Ouedraogo et Kabore 2019)

| Arbres-> versus buissons | 0-5% | 5-10% | 10-25% | 25-50% | 50-75% | 75-100% | | Legende des modifications proposées pour les besoins de Rammes |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|--|-----------------------------|---------------|--|--|
| 0-5% | Sol nu | culture annuelle, Savane herbacée | Savane arborée | Forêt claire, Savane arborée, parc agroforestier | Forêt claire, Forêt galeine | Forêt galeine | | zone d'impossibilité |
| 5-10% | culture annuelle, Savane herbacée | culture annuelle, Savane herbacée | Savane arborée | Forêt claire, Savane arborée, parc agroforestier | Forêt claire, Forêt galeine | Forêt galeine | | ajouter parc agroforestier |
| 10-25% | Savane arbustive | Savane arbustive | Savane arborée | parc agroforestier, savane arborée | Forêt claire, Forêt galeine | Forêt galeine | | ajouter parc agroforestier peu dense |
| 25-50% | Savane arbustive | Savane arbustive | | | Forêt claire, Forêt galeine | | | ajouter parc agroforestier dégradé |
| 50-75% | | | | | | | | ou formation buissonnante (brousse) à herbacées <50% |
| 75-100% | | | | | | | | formations buissonnantes à herbacées <50% |

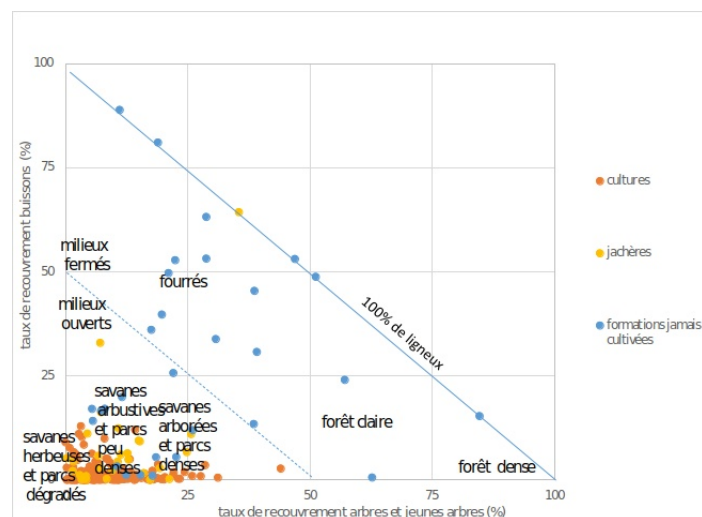


Fig. 8. Répartition des 264 stations sur les minitranssects de Koumbia-Dano en fonction du pourcentage de couverture en arbres et arbustes

BDOT où les parcs agroforestiers seraient composés de plus de 25% de couverture arborée et les observations de terrain où les parcs agroforestiers sont formés principalement de moins de 25% de couverture arborée (Fig. 8.). Dans la liste BDOT, il n'y a pas d'unité arbustive proche (seulement "savanes et forêts"), mais sur les stations, on observe de nombreuses zones de végétations ligneuses et arbustives fermées, composées de moins de 50% d'arbres, donc ce ne sont pas des forêts, ni des savanes (>50% ligneuses). La mission terrestre faite en décembre 2020 pour la télédétection Landsat (Youssef Sanou, Abdulaziz Maiga) vise à compléter les données utiles pour construire une liste adaptée d'unités d'occupation des sols pour la cartographie Landsat.

Une bibliographie a également été entreprise sur la thématique des besoins climatiques du parc arboré, en prenant le cas du karité (Serpantié et Salack, 2020). La sensibilité du karité au climat peut être appréhendée de plusieurs façons (proxys): niveau de production mesuré par la chute ou la forte augmentation des exportations de noix de karité sans incitation par les prix, mortalité des karités sur le terrain. Cependant, pour établir un lien entre les phénomènes climatiques et ces variations de rendement ou de mortalité au niveau national, il reste de nombreuses inconnues. Ainsi, les capacités du système racinaire du karité à obtenir de l'eau en profondeur sont encore mal connues et objet de controverses ; on connaît mal aussi l'importance de l'alternance dans la production de fruits des arbres, ou la simultanéité entre les facteurs climatiques que l'on appréhende à l'échelle nationale. Il n'y a donc que des présomptions de liens. Les liens sont également différents selon les zones climatiques, nord-soudanienne /sud-soudanienne.

Les conclusions de la bibliographie sur l'influence du climat sur les rendements portent sur les pluies, les vents et la température

aux différentes phases, depuis l'année précédant une récolte de noix de karité (tableau 2). Elle dépend de la situation au nord ou au sud de la zone soudanienne. La mortalité des arbres peut être provoquée (incendies, coupe de bois) ou naturelle (maladies, insectes), et dans certains cas liée à des aléas climatiques (sécheresses prolongées, vents excessifs, excès d'eau).

Alors que des hécatombes de karités ont eu lieu pendant les sécheresses des décennies 1970-1980 (années sèches se succédant souvent par deux), les feux de brousse provoquent aussi des dommages importants aux populations d'arbres et blessent la base des troncs. Les jeunes arbres fragiles ne peuvent résister au feu, ce qui provoque un problème de régénération. Il faut aussi évoquer divers parasites du bois (larves de Coléoptères), qui peuvent jouer un rôle dans la chute des arbres en cas de vents violents, mais aussi les Loranthacées, parasites qui détournent de la sève toute l'année, y compris en période sèche, épuisant l'arbre et le rendant plus sensible au vent. Le tableau 3 récapitule quelques hypothèses sur les facteurs climatiques de la survie des arbres.

Tableau 2. Facteurs climatiques saisonniers hypothétiques de l'élaboration de rendement du karité, pour le Nord et le Sud de la zone soudanienne

| Phases critiques | Période moyenn | Facteurs bénéfiques à une composante du rendement ou indirectement bénéfiques | Facteurs adverses |
|--|------------------|---|---|
| Feuillaison an-1 pour la production de stocks énergétiques | Avril à janvier | Au Nord : Longue et bonne saison des pluies ($P > ETP/2$) favorise restockage réserves énergétiques et absence de compétition pour l'eau avec cultures tardives; Cumul P-ETP utile au stockage d'eau dans le sous-sol pour saison sèche | Années trop sèches se succédant (moindres stocks hydriques profonds) |
| floraison /défeuillaison | Décembre-février | Au Sud , la fin de floraison est précoce. l'arrêt précoce des pluies favoriserait un début de floraison précoce et plus étalée bénéfique si elle permet d'éviter les périodes trop froides et trop humides, qui réduiraient la nouaison. Au Nord , la fin de floraison est tardive. Le stress hydrique de l'arbre est supérieur en cas de fin de saison de pluies précoce, donc la qualité de la saison et la pluie d'octobre novembre sont déterminantes. | Vents secs et forts (et feux) sur les bourgeons dormants peuvent inhiber la production de fleurs |
| Pollinisation/Fécondation/ Nouaison | Février à mars | Température min (floraison, nouaison) | Vents forts et trop secs, grosses pluies, T min trop basses ou trop hautes, Feux, Humidité relative trop élevée |
| Refeuillaison/ Fructification | Mars-juin | P-ETP/2 avril-mai | Vents forts, grêle, feux |

Tableau 3. Facteurs climatiques hypothétiques

| Facteurs bénéfiques | Facteurs adverses |
|---|---|
| Conditions centre soudaniennes 800-1300mm | Excès d'eau surtout pour les arbres âgés |
| Minimum pluies >600mm ; moins de 9 mois de saison sèche | Sécheresses répétées, surtout pour les arbres parasités et aux racines abimées par des travaux du sol profonds. |
| Maximum pluies <1400mm | Vents violents |

D1.1.1.1.3 Climat et production de karité sur les deux transects burkinabè

Méthodologie : Les données synoptiques de base: les précipitations (P), les températures (T), l'hygrométrie (H%) de 2019 pour chaque station Gaoua, Bobo-Dioulasso, Boromo et Ouagadougou, Ouahigouya situées près des transects respectifs Koumbia-Dano et Komboinsé-Yilou, ainsi que les données 2019 pour chaque station et les vents maximums de Bobo-Dioulasso et Ouagadougou ont été fournies par la Météologie Nationale.

Résultats : Une analyse du changement climatique de 1973 à 2019 est disponible pour chaque station. Elle met en évidence un certain nombre de tendances qui sont cohérentes ou non entre les stations.

La première condition d'une bonne production et de la survie des arbres est la qualité globale de la saison des pluies de l'année précédant la récolte des fruits du karité, pour l'énergie et le stockage en eau profonde du sol pour la phase de reproduction. La figure 4 compare le cumul de la principale saison des pluies (juin-septembre) sur les 2 stations météorologiques représentatives de chaque transect.

La méthode de calcul est celle des anomalies saisonnières standardisées des précipitations (R) $((R_i - R_{moy}) / \sigma R)$. Les années sèches sont représentées par les barres rouges et les années humides par les barres bleues. Le taux de Mann Kendal (test qui permet d'analyser des séries saisonnières) indique la direction du changement

(+ : croissant), la valeur P indique le niveau de signification de la tendance (ligne de régression noire). Lorsque la valeur P est inférieure ou égale à 0,05, cela signifie que la tendance observée est statistiquement significative au niveau de 5 %.

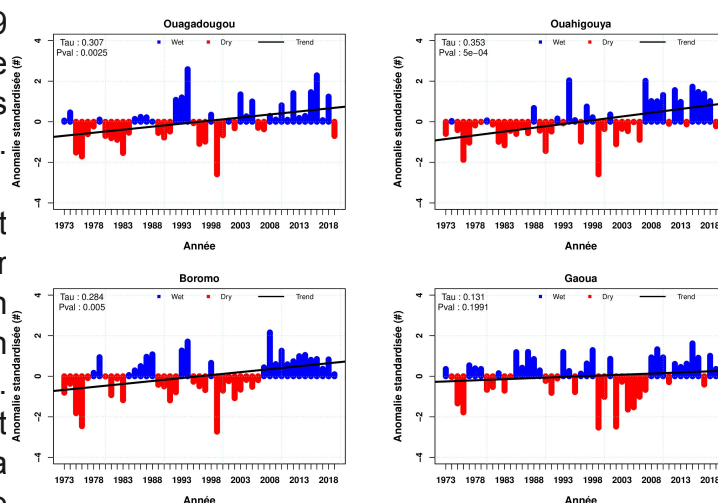


Fig. 9. Anomalies saisonnières normalisées des précipitations sur le transect Kamboinsé

Dans le Nord, la variabilité des transects entre les groupes d'années reste élevée. La figure 9 montre des tendances positives significatives : il y a un véritable "retour des pluies" depuis les sécheresses de 1970-80. Ce retour était hésitant dans les décennies 1990-2000, mais il est réel dans la décennie 2010. Il pourrait être bénéfique, non seulement pour la production de fruits du karité, mais aussi pour la régénération ligneuse des jachères et pour les actions de RNA. En ce qui concerne la survie des arbres, la période 1970-1980 a été la pire, car la

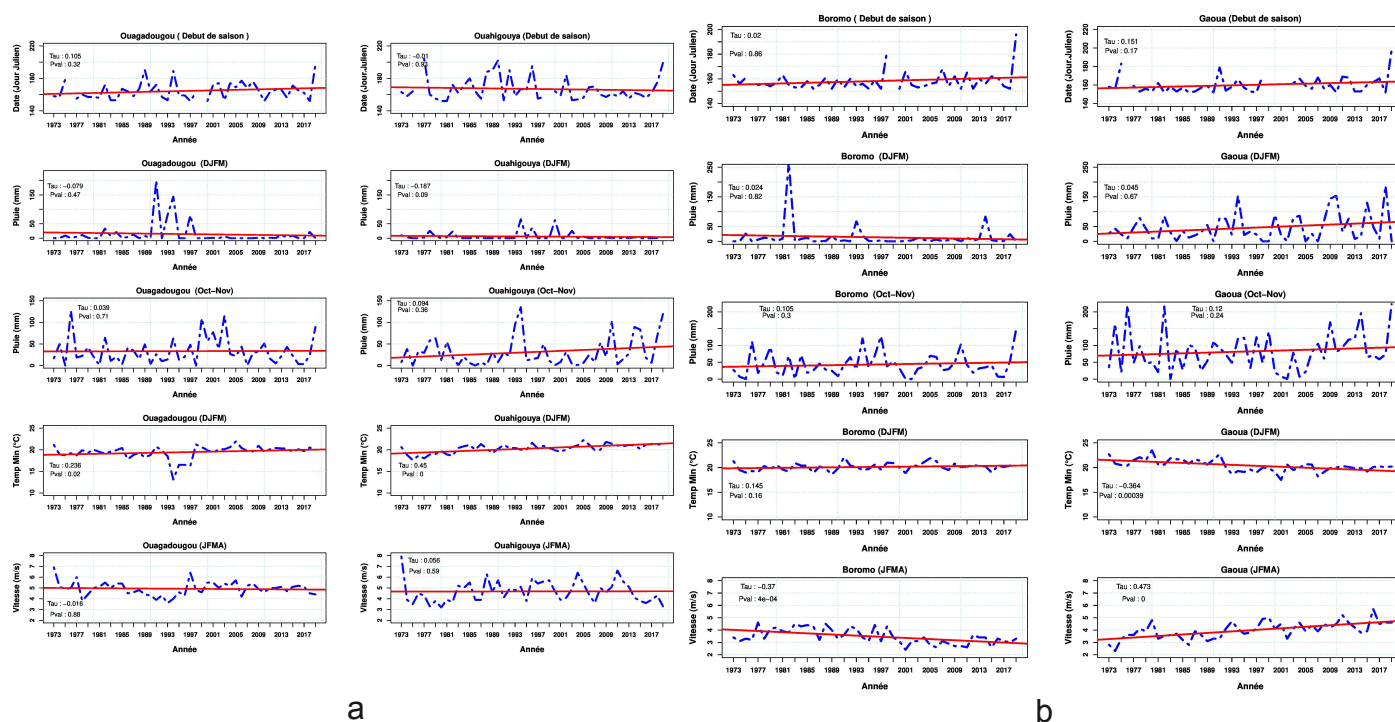


Fig. 10 Indicateurs climatiques secondaires saisonniers sur le transect Kamboinsé-Yilou (a) et Koumbia-Dano (b) respectivement (Salack et Serpantié 2020)

sécheresse s'est poursuivie de 1973 à 1992, ce qui a provoqué la mort de nombreux arbres. Mais l'excès d'eau peut aussi causer des problèmes. Pour le transect Koumbia-Dano (Sud), la tendance positive est également significative pour Boromo mais pas pour Gaoua, avec une alternance de périodes très sèches (décennie 1970, 2000) et humides. Il n'est donc pas certain que la bonne situation actuelle se poursuive. 2020 a été une mauvaise saison des pluies à Dano. La période la plus sèche a été la décennie 2000.

Au niveau régional, les meilleures saisons des pluies pour 3 stations sur 4 ont été observées à trois périodes : 1986-1988, 1991-1993 et 2008-2019.

Les variables climatiques secondaires pendant les saisons de la phase de reproduction (préfloraison : pluies tardives ; floraison et fécondation : pluies en saison sèche, vents ; fructification : date de début de la saison humide) sont censées être de bons facteurs ou créer des risques de fructification (tableau 3.).

La figure 10a montre ces facteurs climatiques potentiels, leur variabilité et leur tendance pour le Kamboinsé-Yilou (zone nord-soudanienne). Il existe de grandes variations, pour chaque indicateur saisonnier climatique, et aucune tendance, sauf les pluies de la saison sèche,

(mauvais pour la fructification) et la température minima de décembre à mars, en augmentation significative (qui est bonne pour la fructification). La figure 10b montre les facteurs climatiques potentiels, leur variabilité et leur tendance pour Koumbia-Dano (Sud-Soudanien). On constate une grande variabilité et peu de tendances, sauf : température minimale de la saison sèche en baisse à Gaoua (contrainte pour la nouaison du karité) mais stable pour Boromo ; diminution du vent maximum de la saison sèche à Boromo et augmentation à Gaoua (contrainte pour la pollinisation, la fécondation, la persistance des fleurs et des jeunes fruits). Une enquête plus approfondie permettra de rechercher des correspondances avec des variations d'exportations.

Relation entre le climat et la production des noix de karité

La production de noix de karité est plus importante dans l'ouest du pays (Fig.11) et elle est bien sûr dépendante des variations climatiques (pluviométrie mais aussi vent et températures). Dans le cas des noix de karité, le volume de la production peut être approché par les quantités exportées. Cependant, la dépendance des exportations par rapport aux prix mondiaux (Fig. 12) rend la

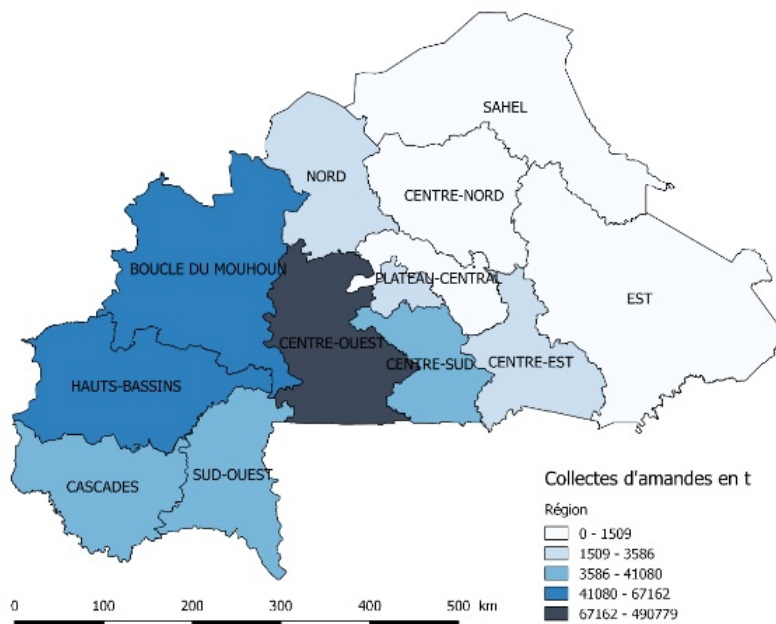


Fig. 11. Carte régionale des productions d'amandes (enquête APFNL, 2013, Extrait de l'annuaire des statistiques de l'environnement 2012, 2015)

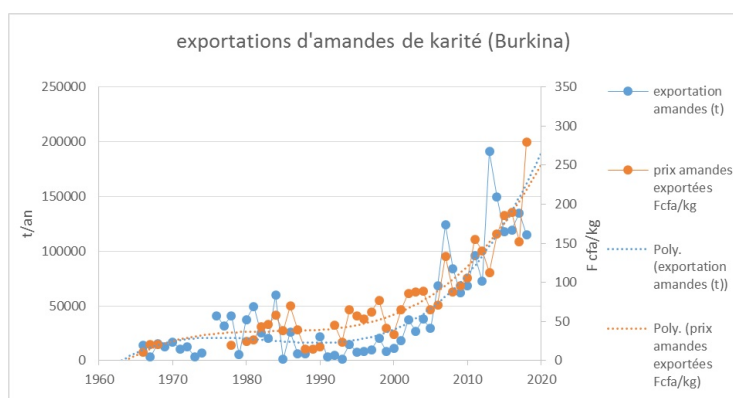


Fig. 12. Exportations et prix des amandes de karité, Burkina Faso. (Serpantié et Salack 2020, d'après les données : CSSPA, INSD ; APFNL, DCE ; SNV

relation climat-quantité produite via les exportations assez difficile à faire (car si les prix sont élevés les quantités de noix ramassées vont être plus importantes notamment en allant collecter dans des zones peu accessibles. La seule bonne correspondance se situe dans la période des pluies actuelle (2008-2019) où les exportations sont les meilleures, attirées également par les bons prix et la bonne réputation des produits du karité, mais aussi sa grande disponibilité. La période 1986-2000 a été une très mauvaise période de marché. Les prix et les noix de karité burkinabé ont été dépréciés, bloquant l'exportation même en cas de bonne production).



D1.1.1.2 - Sénégal

D1.1.1.2.1 Dynamique spatio-temporelle des parcs sur le transect Thiénaba-Khombole-Bambey

(M. Dieng, L. Coly Ndiaye)

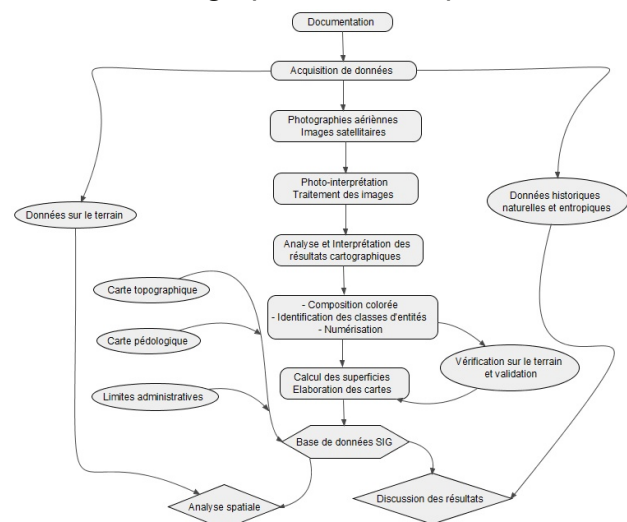
Tableau 4 : Caractéristiques et sources des images utilisées

| Images satellitaires | Année | Scènes/ feuille | Nombre de bandes | Dates acquisition | Résolution spatiale | Source |
|----------------------|-------|-----------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------|
| Landsat 1 MSS | 1973 | 205/050 | 4 | 22/02/1973 | 60 m | USGS-NASA |
| Landsat 5 TM | 1985 | 205/050 | 5 | 21/02/1995 | 30 m | |
| Sentinel 2 | 2019 | 205/050 | 13 | 26/02/2020 | 10 m | |

Méthodologie: La dynamique spatio-temporelle des parcs agroforestiers au Sénégal a été réalisée, dans un premier temps, sur un transect d'une longueur de 40 km et large de 10 km entre Thiénaba et Bambey en passant par Khombole. Les données utilisées dans cette étude sur la dynamique de l'occupation du sol sur 46 ans sont des images satellitaires des années 1973, 1985 et 2019 (Tab.4). Ces dates ont été choisies dans le but de caractériser l'occupation des sols dans la zone d'étude avec un accent particulier sur la végétation. Elles sont issues d'images Landsat qui disposent des données satellitaires les plus anciennes et les plus informatives de la planète et qui est le seul à fournir des images continues des ressources de la planète à une haute résolution (30 m) depuis bientôt 50 ans (Long term Satellite Image Time Series, 2019). Les données utilisées dans cette étude comprennent donc Landsat 1-5 Niveau 2 et Sentinel 2 et ont été téléchargées du site web officiel de United States Geological Survey (www.earthexplorer.usgs.gov). Elles proviennent des capteurs Multi Spectral Scanner (MSS) pour l'année 1973, de Thematic Mapper (TM) pour les années 1985 et de Enhanced Thematic Mapper (ETM) pour 2019. Les données sont acquises durant la saison sèche au mois de février. La date de prise de ces images est importante car elle coïncide avec une période où les feuilles de *F. albida* sont développées pour permettre une différenciation nette des réflectances. Le choix des dates n'est pas fortuit.

En effet, la date de 1973 est marquée par la première réforme territoriale du Sénégal en 1972, créant les communautés rurales et les communes à régime spécial et donnant plus de pouvoirs économiques aux communes urbaines. 1985 marque la première année de la mise en œuvre de la Nouvelle Politique agricole de 1984 et l'année 2019 pour la période actuelle.

Fig. 13. Processus méthodologique pour la cartographie de l'occupation du sol



Traitement des images : Le traitement des images a consisté à extraire les huit (08) types d'occupation regroupés comme suit:

- les zones d'habitation (1),
- les zones de savane arborée (1),
- les zones de steppe arbustive à arborée (2),
- les zones de cultures pluviales (1),
- les eaux (1),
- les bas-fonds (1).

Ce travail a commencé par une photo interprétation qui consiste à identifier ces différents éléments sur l'image à l'œil nu et d'autre part par traitement sur le logiciel erdas 14 et QGIS qui s'est déroulé suivant un certain nombre d'étapes :

* *Le géo référencement* : il consiste en la transformation de l'image en fonction d'un système cartographique de référence. Il permet aussi la superposition des images utilisées de manière à faire coïncider des points géographiques équivalents. C'est ainsi qu'il a permis de procéder à la correction géométrique et de projeter correctement toutes les images sur le système UTM zone 28N et du Datum WGS84. Composition colorée des bandes primaires des images satellitaires : Elle peut être définie comme une combinaison de bandes spectrales et se fait sur le principe d'affectation des bandes de l'image à trois plans d'affichages basées sur trois couleurs primaires que sont le rouge, le vert et le bleu. Elle permet l'identification des grands ensembles et de procéder à leur classification.

* *La composition colorée utilisée*, qui semble être la mieux adaptée pour cette étude de la dynamique de l'occupation des sols, est une composition colorée en vraie couleur avec les bandes 3-2-1 pour les images satellitaires Landsat MSS (1973), les bandes 4-3-2 pour les images de 1985 et 5-4-2 pour 2019, les types d'occupation du sol ont été identifiés visuellement sur la base du LCCS (Land Cover Classification System) de la FAO.

Une fois la composition colorée terminée, le fichier est enregistré sur le format Géo/TIFF pour l'exporter dans ArcMap pour la cartographie.

* *La classification supervisée* par un maximum de vraisemblance est utilisée. Elle consiste à imposer au logiciel d'identifier les différentes classes d'informations représentant les classes spectrales de l'image. Elle permet au logiciel ArcMap d'identifier les classes semblables en fonction du nombre de classes qu'on lui demande de respecter. Elle a été mise en place sur les images de 1973, 1985 et 2019 à l'algorithme du maximum de vraisemblance qui a été appliqué. C'est une méthode qui repose sur les caractéristiques statistiques des échantillons représentatifs des classes précédemment identifiées sur l'image. Les huit classes prédéfinies ont pu être discriminées et regroupées dans les catégories

indiquées Fig. 14. L'algorithme affecte ensuite chaque pixel de l'image à la classe d'occupation du sol à laquelle il a la plus forte probabilité d'appartenir (ROBIN, 2002) (LEROUX, 2012).

Enfin, la précision des classifications sera évaluée à travers l'utilisation d'une matrice de confusion à travers laquelle les résultats de la classification ont été confrontés à des points de contrôle. En télédétection, différentes méthodes peuvent être utilisées pour évaluer la qualité de la classification. Parmi elles, il y en a deux qui figurent sur la liste des plus utilisées :

- La précision globale qui caractérise la proportion de pixels bien classés par rapport à l'échantillon total, calculé en pourcentage. Elle est calculée par la formule suivante :

$$\text{Précision globale} = \frac{\text{somme des différents pixels bien classifiés}}{\text{Nombre total de pixels échantillonnés}} \times 100$$

Cet indice est évalué sur une échelle de 0 à 1. Si Kappa est < à 0,5 la classification est considérée comme valide (Leroux, 2012). Ainsi, une échelle qualitative de classification en fonction des valeurs du coefficient Kappa a été établie par Landis et Koch (LANDIS, J. R and G.G. Koch, 1977).

La précision globale pour 2019 est de 0.73 tandis que l'indice de Kappa est de 0.65.

**Les données de terrain* : Pour faciliter la définition des classes d'occupation du sol et la localisation des classes, deux missions ont été organisées sur le terrain. Ces deux missions ont permis l'identification des classes d'occupation (savane arborée, steppe arbustive à arborée, habitat, terres de cultures), la caractérisation des unités paysagères et la collecte des points de contrôle. En effet, la détection des différentes catégories d'occupation du sol à partir des seules images satellites reste difficile, c'est pourquoi il est nécessaire de s'appuyer sur des données de terrain.

Résultats : La figure 14 illustre l'état de l'occupation des sols à 3 dates différentes : 1973, 1985 et 2019. En 1973, l'occupation du sol est dominée par les zones de cultures (ou espaces agricoles) dominée par la culture de l'arachide et du mil qui représentent 45% avec une superficie de 21383 ha suivie de la zone de savane arborée et arbustive avec

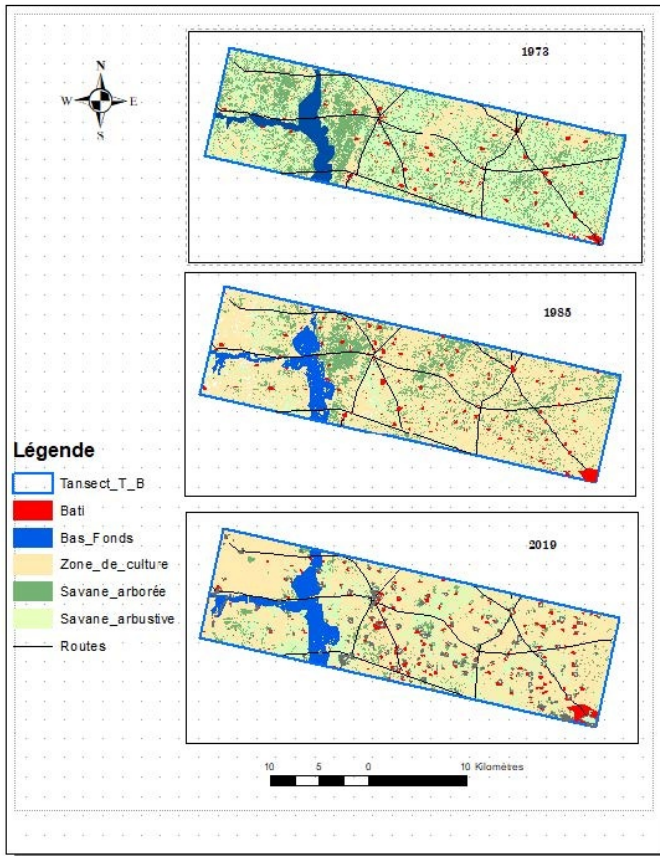


Fig. 14. Unité d'occupation du sol du transect Thiénaba-Bambey en 1973, 1985, 2019 (Ndiaye, 2019)

cultures représentent plus de la moitié de la surface de la zone étudiée soit 69 %. En ce qui concerne la végétation, notamment la zone de savane, aussi bien arborée qu'arbustive, elle a connu une forte régression depuis 1973. C'est ainsi que la savane arborée qui renferme les parcs agroforestiers est passée de 13 118 ha en 1973 à 3776 en 2019, soit une baisse de plus de 70 %. Cette baisse peut être attribuée en grande partie à l'action de l'homme mais aussi à des facteurs naturels dont les conséquences sont le vieillissement et la disparition de certaines espèces. En revanche, d'autres classes ont connu une évolution positive : c'est les cas des superficies du bâti qui sont passées de 858 en 1973 à 2595 en 2019, soit une augmentation de 51 %.

respectivement 13118 et 9345 ha. La zone des bas-fonds où on retrouve aussi les points ne représente que 5 % avec une superficie de 2448 ha, ce qui peut s'expliquer par la sécheresse et la période de saison sèche. Quant au bâti, il occupe seulement environ 2% avec une superficie de 858 ha. En 1985, on note une évolution positive des classes du bâti, des bas-fonds et des zones de cultures. En effet, le bâti est passé de 858 à 1262 ha soit une augmentation de près de 50 % entre 1973 et 1985 tandis qu'elle est de 24,5 et 14,8 % respectivement pour les zones de cultures et les bas-fonds. Cette augmentation des espaces agricoles est due au cours de ces années au développement de la culture et de la commercialisation de l'arachide qui génèrent des ressources financières considérables. En 2019 on remarque une hausse continue des superficies occupées par les zones de cultures ou espaces agricoles. Elles sont passées de 28346 ha en 1985 à 32655 ha en 2019, soit une augmentation de 13 %. Cette augmentation pourrait être liée d'une part, aux politiques de l'Etat du Sénégal envers l'agriculture et les initiatives ou investissements privées et d'autre part, à la croissance démographique. Les zones de

Conclusion : l'analyse de la dynamique spatio-temporelle des parcs agroforestiers du transect de Thiénaba-Bambey de 1973 à 2019 a montré que la végétation a connu des changements. Cette évolution est marquée par une augmentation de la superficie des zones de cultures au détriment de la savane arborée. Cela a entraîné une forte dégradation du couvert végétal. Ainsi, les parcs agroforestiers du transect de Thiénaba-Bambey n'ont pas échappé au phénomène. Les autres facteurs sont :

- la sécheresse qu'a connu le Sénégal dans les années 1970 jusqu'aux années 1980
- les changements climatiques et leurs conséquences
- les facteurs hydrodynamiques
- l'anthropisation à travers la coupe de bois et la pression foncière agricole.

Les parcs agroforestiers connaissent aussi dans certaines zones un vieillissement et la disparition de certaines espèces ; ce qui explique les faibles densités qu'on rencontre. Les outils d'analyse spatiale à savoir la télédétection et le système d'information géographique contribuent à une connaissance de l'évolution de la végétation et ils peuvent être d'excellents outils de gestion et de suivi des parcs agroforestiers.

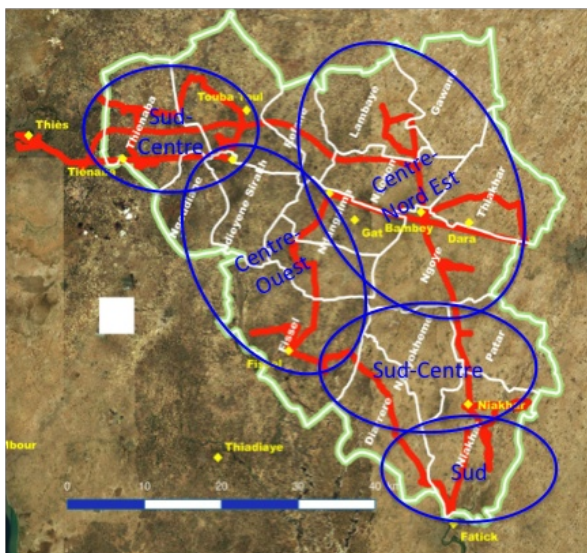
D1.1.1.2.2 Relation entre évolution climatique et évolution des parcs (M. Loireau, M. Dieng)

Méthodologie : Une mission de lecture paysagère réalisée par M. Loireau et M. Dieng en novembre 2019 a permis de caractériser différents types de parcs arborés. Des transects souhaitables à parcourir avaient été préalablement tracés sous SIG sur l'ensemble de la zone selon les principes suivants :

- représentativité des 17 communes (zone d'étude),
- gradient urbain-rural; champs de case,
- champ de brousse,
- gradient topographique,
- pédologie,
- accessibilité.

Ensuite, le parcours de la zone d'étude (échelle régionale) a été fait en recherchant le maximum de diversité, essentiellement dans les zones pas ou peu couvertes par les focus « terroirs villageois » où a été concentré le dispositif de mesure agro et biophysique. Informations recueillies : points GPS, photos, notes et informations complémentaires auprès des personnes rencontrées sur le chemin. Des zones à réflectance spécifiques sur images satellites avaient été ciblées dans la zone de Khombole (communes de Thiénaba et Touba Toul) où une première classification d'OS non supervisée avait été faite. Lors des déplacements en voiture d'un transect à un autre, ou d'une zone à une autre, des observations OS et paysages ont été notées.

Fig.15. Mission de lecture paysagère sur la région d'étude (Loireau et Dieng) : *Chemin parcouru (en rouge), zonages (en bleu)*



Résultats :

Les déterminants paysagers :

- type de sols (sols ferrugineux, sols hydromorphes, sols halomorphes, vertisols)
- micro-relief (densité des dépressions en grappe le long des vallées sèches NE-SO, plus ou moins larges)
- ancienneté de population (hypothèse : des parcs plutôt mieux entretenus au niveau des zones où les populations sont anciennement installées),
- densité /répartition de l'habitat (plus l'habitat dispersé est dense, plus la couverture végétale est dense et diversifiée avec des espèces introduites et entretenues dans les parcs arborés villageois), sans compter les arbres dans les concessions même des villages.
- proximité des centres urbains (champs cultivés pas prioritaires, peu soignés, facilement abandonnés s'il y a une année pluviométrique compliquée ou autre problème socio-économique ; pression sur les ligneux pour le bois, les produits de tradipraticiens)
- zone d'intervention de projets de développement ou forestiers (e.g. sensibilisation à la RNA pour le *Faidherbia* au Nord de Fatick dans la commune de Niakhar)

Des espaces et dynamiques spatiales :

En zone rurale, en s'éloignant des villages/hameaux :

- dans les villages ou hameaux, les îlots boisés au sein des concessions semblent se développer, s'enrichir, selon l'hypothèse que les habitants plantent de plus en plus d'arbres dans les cours de leurs concessions, pour l'ombrage mais aussi pour de la production (fruits, autres). La végétation est de plus en plus dense et diverse et ce d'autant plus que les parcs de brousse s'appauvrissent, une dynamique « individuelle/familiale »
- dans la première auréole autour des villages ou hameaux (quelques centaines de mètres), la dynamique semble « positive », cf. densification et diversification, une dynamique « collective/villageoise, « individuelle/familiale » : on y voit le plus souvent à la fois de jeunes pieds récemment introduits et des spécimens anciens visiblement préservés/protégés d'espèces qu'on ne voit plus ou rarement en « brousse ».

- dans les parcs plus éloignés des villages (500 m à 1 km), les espaces densément cultivés ou des zones de parcours réservées au pâturage, au passage de troupeaux, semblent dans des dynamiques plutôt « négatives » en général, avec une « dégradation » des parcs (perte de densité et de diversité), mais à certains endroits, en raison d'interventions de projets ou autres à identifier, la tendance générale semble s'inverser.

- sur l'ensemble de la zone (Fig. 15, à préciser, valider ou invalider)

Zone Sud : sols ferrugineux lessivés sur sables siliceux, et sols halomorphes sur alluvions sableuses dans les vallées ; proche ville de Fatick ; Système de culture Arachide/hibiscus, mil/niébé, jachère de un an, un peu de pastèque et de sorgho ; Densité d'arbres faible à très faible en dehors des concessions et parcs villageois ; Habitat dispersé dense et ancien le long des vallées ; RNA sur *Faidherbia* dans la zone d'intervention de l'ONG « World vision Sénégal ».

Zone Sud-Centre : au cœur du dispositif Ramses2 représenté par l'observatoire de Niakhar ; trois types de sols (surtout sols ferrugineux lessivés sur sables siliceux et vertisols sur marnes, plus un peu de sols halomorphes sur alluvions sableuses) ; Densité d'arbres moyenne à faible en dehors des concessions et parcs à proximité des villages ; Système de culture : Arachide/hibiscus ; mil/niébé, niébé, jachère un an, un peu de mil tardif et de sorgho ; Habitat dispersé moins dense ; Pas de RNA mais des projets anciens de plantation de parc à ziziphus mauritiana

Zone Centre - ouest : Sols ferrugineux faiblement lessivés sur sables siliceux et sols hydromorphes sur colluvions sableuses ; deux types de densité d'arbres qui se côtoient, soit (très) dense (caractère sacré ?), soit très peu dense en dehors des concessions et parcs villageois, peu divers, FA très dominant ; Système de culture Arachide/hibiscus ; mil/niébé, jachère un an ; Habitat dispersé dense, notamment le long de la vallée à l'ouest ; Un peu de jeunes pousses de FA dans champs (RNA ?)

Zone Nord-Ouest : Proche ville (Thiès) ; Sols ferrugineux faiblement lessivés sur sables siliceux et sols hydromorphes sur colluvions sableuses, plus quelques plateaux cuirassés à l'extrême ouest avec campements/hameaux peuls ; Très faible densité d'arbres en dehors

des concessions et parcs à proximité des villages, beaucoup d'arbustes dont le *Guiera senegalensis* dans les zones de parcours notamment ; Système de culture plus diversifié : Maraîchage en progression rapide, manioc, Arachide/hibiscus ; mil/niébé ; zones de parcours plus importantes avec coupe du tapis herbacée pour fourrage ; habitat dispersé très dense ; Accaparement terre par des entreprises espagnoles.

Zone Centre et Nord Est : sols ferrugineux lessivés sur sables siliceux et vertisols sur marnes ; densité faible et peu divers de ligneux avec *Faidherbia* et *Balanites aegyptiaca* dominants ; Système de culture Arachide/hibiscus ; mil/niébé, jachère un an ; Habitat dispersé dense ; Pas de RNA.

Conclusion : A partir de ces hypothèses, quatre terroirs villageois ont été sélectionnés pour les analyses à l'échelle « *terroirs* » et pour les enquêtes socio-économiques (D1.3.1) et les enquêtes sur les pratiques et attachement aux parcs (D1.3.2) à l'échelle « *exploitation* ». Il s'agit des villages suivants : Bankadji et Thilla Ounté dans la zone Nord, Dihine dans la zone Centre et Sangaré dans la zone Sud (cf. D1.3.2 pour les détails sur leurs caractéristiques paysagères).

La méthodologie utilisée sera améliorée et appliquée aux 16 communes de la zone du projet. Aussi, une étude liant l'évolution du couvert végétal et les données démographiques des villages sera menée pour voir s'il existe une corrélation entre la dynamique démographique et celle des parcs.

Des initiatives sont prises avec l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM) pour disposer des données pluviométriques et des températures couvrant la zone pour mener cette étude sur l'évolution du climat et de la biodiversité durant les 50 dernières années. Cette analyse de l'évolution du climat se fera dès que les données pluviométriques et des températures seront disponibles.

