

## **Suivi des sites de récupération des terres et détermination par télédétection de l'indice d'évaluation de la restauration en zones arides et semi arides au Niger**

**Mourtala BACHIR<sup>1\*</sup>, Amadou GARBA<sup>1</sup>, Ahmed EL ABOUDI<sup>2</sup>, Adamou ABDOU CHITOU<sup>3</sup>  
et Abdoulaye MAIZAMA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Centre National de Surveillance Ecologique et Environnementale, Niamey, Niger*

<sup>2</sup> *Université Mohamed V, Faculté des Sciences et Centre régional Africain des Sciences et Technologies de l'Espace (CRASTE-LF), Laboratoire Ecologie, Rabat, Maroc*

<sup>3</sup> *Agence du Barrage de Kandadji, Niamey, Niger*

(Reçu le 15 Août 2023 ; Accepté le 26 Décembre 2023)

---

\* Correspondance, courriel : [bachir\\_mourtala@yahoo.fr](mailto:bachir_mourtala@yahoo.fr)

### **Résumé**

La dégradation des terres constitue une problématique récurrente à surmonter au Niger. Depuis plusieurs décennies, des actions multiformes sont engagées par l'Etat et ses partenaires pour restaurer le potentiel productif des terres. Toutefois, on observe l'absence d'un indicateur permettant d'évaluer facilement les terres restaurées. La présente étude vise à évaluer la restauration des terres dégradées au niveau de deux sites pilotes, Kourdehol en zone aride et Loga Fada en zone semi-aride et deux sites de références pris dans chacune des zones. L'approche méthodologique a permis d'utiliser la télédétection et les SIG pour déterminer l'indice de végétation pour la restauration des terres dégradées ( $\Delta NDVI_{moyen}$ ). Les résultats de cette étude ont permis d'enregistrer des seuils de restauration des terres ( $\Delta NDVI_{moyen} \geq 0$ ) en 2016 et 2018, au niveau de Kourdehol. En ce qui concerne Loga Fada aucun seuil de restauration n'a été enregistré ( $\Delta NDVI_{moyen} < 0$ ). Ces résultats contribuent à l'évaluation de la restauration des terres dégradées et peuvent servir d'outils d'aide à la décision sur la trajectoire à donner à un site de récupération des terres.

**Mots-clés :** *restauration, télédétection, indice d'évaluation de la restauration, seuil de restauration.*

### **Abstract**

**Monitoring of land recovery sites and determination by remote sensing of the restoration evaluation index in arid and semi-arid zones in Niger**

Land degradation is a recurring problem to be overcome in Niger. For several decades, the government and its partners have been pursuing a wide range of initiatives to restore the land's productive potential. However, there is a lack of an indicator to easily assess restored land. This study aims to assess the restoration of degraded land at two pilot sites, Kourdehol in arid zone and Loga Fada in semi-arid zone and two reference sites taken in each zone. The methodological approach allowed the use of remote sensing and GIS to determine the vegetation index for the restoration of degraded lands ( $\Delta NDVI_{moyen}$ ). The results of this study allowed land restoration thresholds ( $\Delta NDVI_{moyen} \geq 0$ ) to be recorded in 2016 and 2018, at the

Kourdehol level. In the case of Loga Fada no restoration threshold was recorded ( $\Delta NDVI_{\text{moyen}} < 0$ ). These results contribute to the assessment of the restoration of degraded lands and can be used as decision making guidance on the path to be given to a land restoration site.

**Keywords :** *restoration, remote sensing, restoration evaluation index, restoration threshold.*

## 1. Introduction

Au Niger, l'importance accordée à la question environnementale remonte à 1974 comme précisé par le Programme triennal 1976 - 1978 et le Plan quinquennal 1979 - 1983 [1]. Ces efforts continuent encore et mieux, à l'instar des pays membres de la Convention de Nations Unis pour la Lutte Contre la Désertification (CNULCD), le Niger a approuvé récemment l'objectif 15.3 des Objectifs de Développements Durables (ODD) qui inclut le concept de la Neutralité en matière de Dégradation des Terres (NDT) comme force motrice de premier ordre pour la mise en œuvre de la convention [23]. D'ici 2030, le Niger s'engage ainsi à atteindre la NDT [2], il est donc important que des outils d'évaluation adaptés soient développés et vulgarisés pour que la restauration des terres dégradées soient bien suivies et facilement évaluées. En effet, depuis une dizaine d'années, des nombreux chercheurs et praticiens de la restauration des systèmes naturels ont insisté sur la nécessité de définir des systèmes de références pour une meilleure planification des projets de restauration des terres [3 - 6]. Cependant, force est de constater qu'elles se sont, pour la plupart limitées à la description de la démarche méthodologique permettant de déterminer des seuils de restauration, sans qu'elles n'aboutissent à un résultat. Au Niger, plusieurs études ont été menées, mais la plupart sont partielles, circonscrites au niveau communal, régional et zonal des zones d'intervention des programmes et projets [2]. En plus de cela, elles se sont surtout intéressées à l'évaluation de la dynamique d'occupation des sols et non à la restauration [24 - 26]. Il est donc important qu'on s'intéresse particulièrement à l'évaluation de la restauration des terres, parce que jusque-là, il n'existe pas des études dont les résultats ont abouti à l'obtention des valeurs de référence permettant d'apprécier le niveau de restauration d'une terre dégradée. Ce qui permet d'une part, de distinguer, objectivement les terres traitées des terres restaurées ou sur la voie de l'être et d'autre part, d'orienter les efforts du décideur en matière de lutte contre la dégradation des terres et de satisfaire les exigences de l'objectif 15.3 [23]. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude. Elle vise à évaluer la restauration des terres dégradées en zone arides et semi-arides du Niger, au moyen de la télédétection et des SIG. De façon spécifique, elle permettra de suivre la productivité des sites pilotes et ceux des sites de références, en zone arides et semi-aride puis de déterminer l'indice d'évaluation de la restauration des terres dégradées et enfin d'évaluer le niveau de restauration des terres dégradées des sites pilotes, en zone arides et semi-aride.

## 2. Méthodologie

### 2-1. Zone d'étude

La zone d'étude comprise entre la zone aride et semi-aride du Niger s'étend de  $0^{\circ}17'40''$  et  $13^{\circ}19'40''$  de longitudes Est à  $12^{\circ}05'40''$  et  $16^{\circ}26'20''$  de latitudes Nord. Elle abrite, du nord au sud les sites pilotes de Kourdehole (Latitude  $13^{\circ} 58' 20,6''N$  et Longitude  $10^{\circ} 11' 09,7''E$ ), en zone aride et de Loga Fada (Latitude  $13^{\circ} 37' 14,5''N$  et Longitude  $3^{\circ} 14' 30,3'' E$ ), en zone semi-aride (**Figure 1**). La pluviométrie moyenne annuelle varie de 200 à 400 mm en zone aride et de 400 à 700 mm en zone semi-aride.

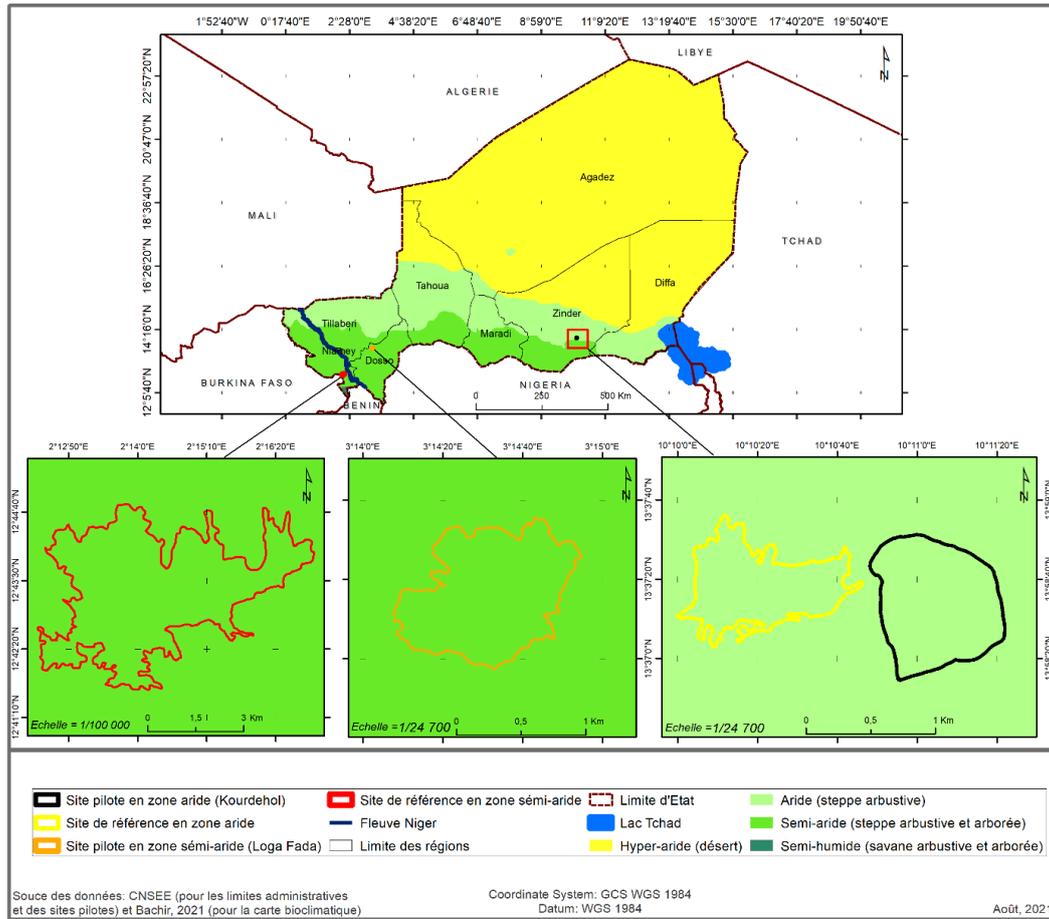
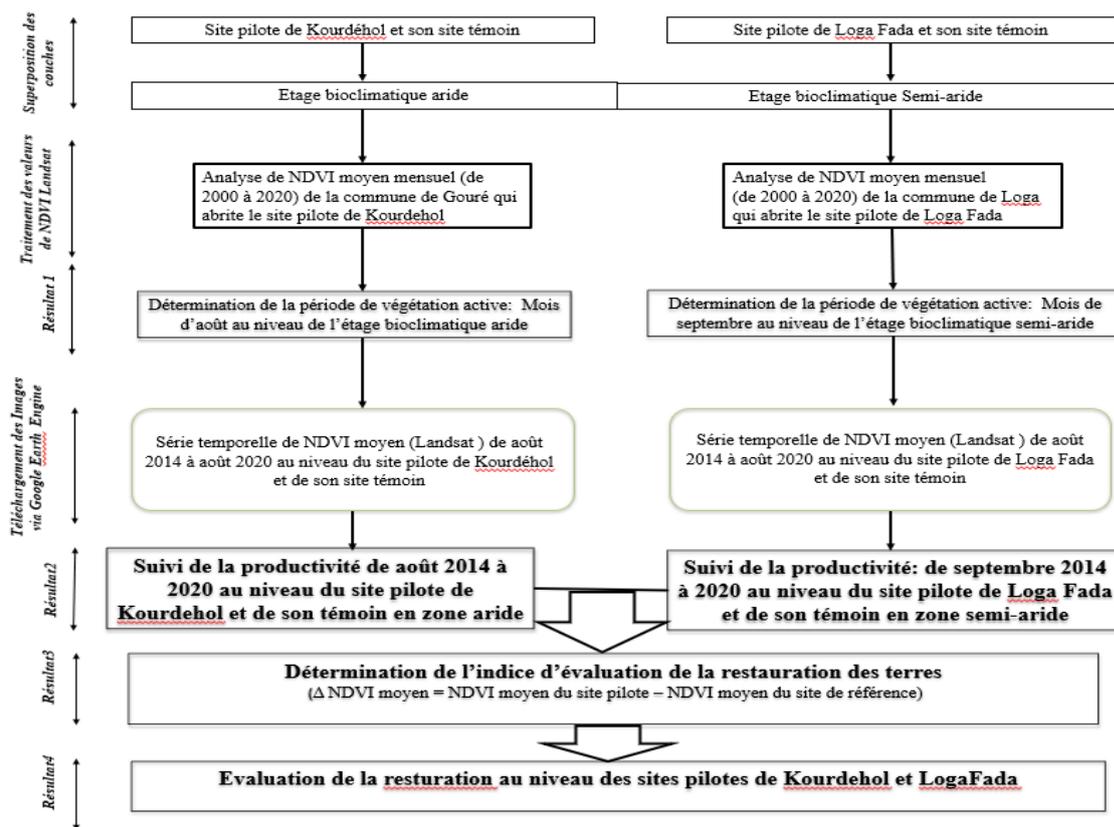


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

## 2-2. Démarche méthodologique et analyse des données

La méthodologie globale utilisée dans le cadre de ce travail est résumée dans l'organigramme de la **Figure 2**.



Source : Processus méthodologique suivi dans le cadre cette étude

Figure 2 : Organigramme de la méthodologie générale

### 2-2-1. Analyse de l'indice de végétation en zone aride et semi-aride

Les valeurs de la série temporelle (2000 - 2020) du NDVI moyen ont été téléchargées via la plateforme *earth map*. Le traitement des données a été ensuite effectué grâce au tableur Excel. En zone aride, c'est la commune de Gouré, abritant le site pilote de Kourdehol qui a été retenue, tandis qu'en zone semi-aride, c'est la commune de Loga où est localisé le site pilote de Loga Fada qui a été utilisé pour l'analyse du NDVI.

### 2-2-2. Suivi à l'échelle des sites pilotes et de références

A ce niveau, un site pilote et un site de référence (de superficie  $\geq 50$  ha pour une question d'échelle) ont été choisis au niveau de la zone aride et semi-aride, seulement. Le choix des deux zones bioclimatiques s'explique du fait que c'est à ces niveaux que les activités de restauration des terres sont concentrées au Niger. Le site de référence est utilisé pour comparer ces indices de végétation avec ceux du site pilote en vue d'évaluer les efforts de restauration [9]. Il est par conséquent défini comme une approximation de l'état souhaitable, une norme choisie parmi plusieurs états alternatifs possibles et accessibles par une succession d'étapes appelée trajectoire [4]. Un autre critère non moins important pour ce qui est du choix des sites pilotes est celui du type de traitement réalisé. Ainsi, il a été identifié pour la zone aride, le site pilote de Kourdehol situé sur une plaine, dans la commune de Gouré, département de Gouré, région de Zinder. C'est une steppe arbustive dégradée d'une superficie de 100 ha qui est traitée par des demi lunes ensemencées par des herbacées à partir de 2014. La végétation est dominée par les Mimosaceae et les Boraginaceae [10]. Puis, un site de référence situé sur la même latitude et unité géomorphologique a été identifié, à l'ouest du site pilote. En

zone semi-aride, c'est le site pilote de Loga Fada, situé sur un plateau dans la commune de Loga, département de Loga, région de Dosso qui a été choisi. Ce site, d'une superficie de 60 ha est occupé par une savane arbustive dégradée avec un peuplement végétal dominé par *Cassia sieberiana*. Il est aussi traité par des demi lunes, ensemencées par des herbacées à partir de 2014 [11]. Ensuite, un site de référence, à l'ouest, sur presque la même latitude et unité géomorphologique que le site pilote a été identifié.

### **2-2-3. Évaluation de la restauration des terres dégradées en zone aride et semi-aride**

La restauration des terres dégradées dont cette étude fait cas, est la restauration active. Cette dernière, à la différence de la restauration passive est définie comme celle dirigée par des interventions humaines [7]. Elles sont représentées au Niger par les techniques de Conservation de Eaux et du Sol et de Défense et Restauration des Sols [8]. Il existe certes plusieurs paramètres de restauration des terres, mais très peu reflètent, individuellement la santé globale du sol comme la végétation [13]. C'est pour cette raison que nous avons opté pour le suivi et l'évaluation de la restauration des terres suivant une analyse multi-date de l'indice de différence normalisée de végétation dont la **Formule** est :

$$NDVI = \frac{\text{Proche Infra Rouge} - \text{Rouge}}{\text{Proche Infra Rouge} + \text{Rouge}} \quad -1 < x < 1 \quad (1)$$

*provenant des images satellitaires Landsat 8 [12] qui couvre les sites pilotes et de référence en zones arides et semi-arides. La série temporelle des données, allant de 2014 à 2020 a été traitée, sélectionnée et téléchargée grâce au langage de programmation Javascript via la plateforme google earth engine.*

Le profil de la série temporelle du NDVI au niveau du site pilote et de référence permet d'apprécier la dynamique de la végétation au niveau des deux sites. Lorsque l'allure de la courbe du site pilote épouse celle du site de référence, cela implique une bonne corrélation entre les deux variables. L'Indice de de végétation pour la restauration des terres dégradées ( $\Delta_{NDVI}$ ) résulte de la différence entre le NDVI moyen du site pilote ( $NDVI_{\text{moyen SP}}$ ) et celui du site de référence ( $NDVI_{\text{moyen SR}}$ ). La **Formule** est la suivante :

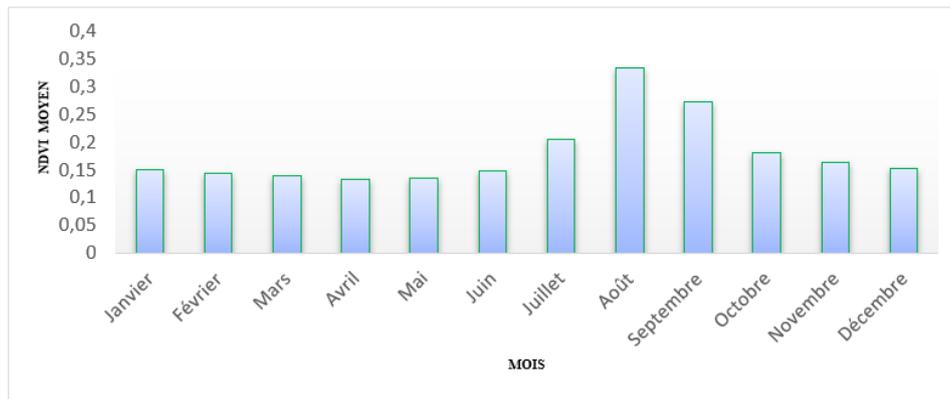
$$\Delta_{NDVI_{\text{moyen}}} = NDVI_{\text{moyen SP}} - NDVI_{\text{moyen SR}} \quad (2)$$

Ainsi, les valeurs  $\geq 0$  indiquent que le site pilote a atteint le seuil de restauration des terres dégradées et les valeurs  $< 0$  indiquent qu'il n'a pas atteint le seuil de restauration des terres dégradées. Il faut préciser que cette interprétation n'est valable que si les valeurs du NDVI moyen du site de référence et du site pilote sont positives, comme c'est le cas dans cette étude, autrement il faudrait annuler les valeurs négatives avant d'effectuer l'opération.

## **3. Résultats**

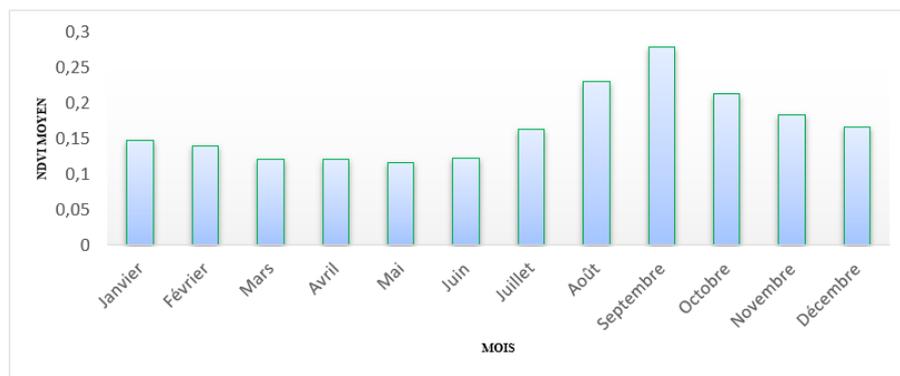
### **3-1. Analyse de l'indice de végétation en zone aride et semi-aride**

L'évolution de l'indice de végétation (NDVI) de 2000 à 2020 montre que le mois d'août est le mois de végétation active, en Zone aride (**Figure 3**).



**Figure 3 :** *Indice de végétation moyen mensuel (NDVI moy) de la commune de Gouré, en zone aride (de 2000 à 2020)*

La **Figure 4** montre aussi l'évolution de l'indice de végétation (NDVI) de 2000 à 2020. Ce qui démontre que le mois de septembre est le mois d'importante activité chlorophyllienne, en zone semi-aride, qui abrite les communes de Loga et Tamou où sont localisés le site pilote de Loga Fada et de son site de référence respectivement.



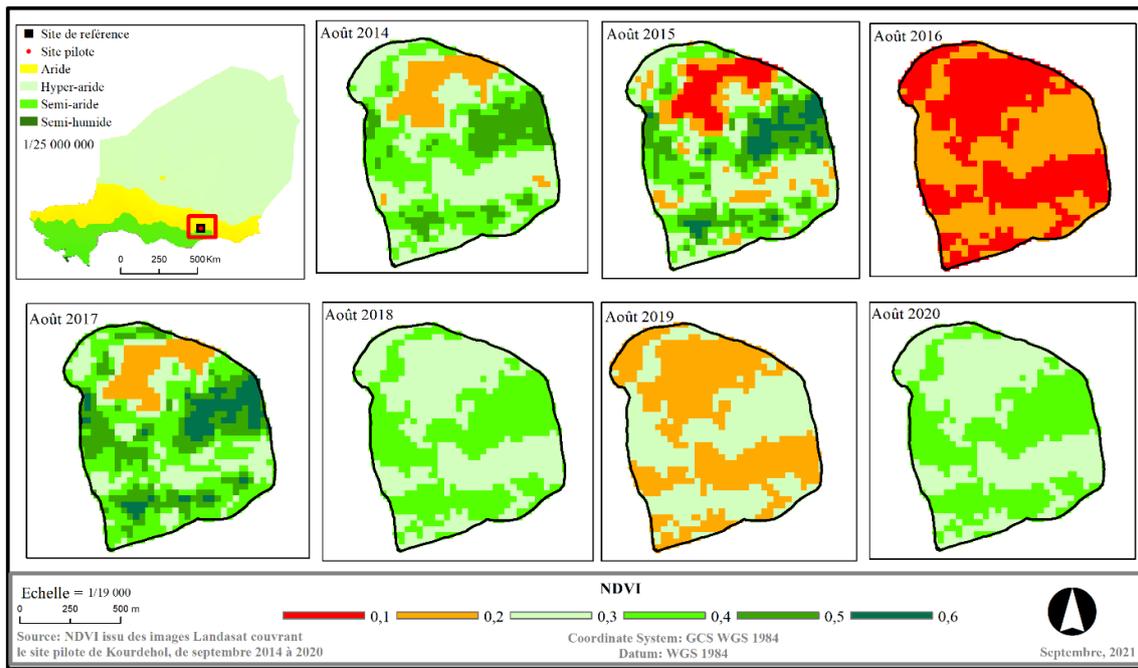
**Figure 4 :** *Indice de végétation moyen mensuel (NDVI moy) de la commune de Loga, en zone semi-aride (de 2000 à 2020)*

### 3-2. Suivi de la restauration des terres dégradées en zone aride

L'analyse de l'indice de végétation (NDVI) de 2014 à 2020 pour le mois d'Août a été effectuée au niveau du site pilote de Kourdehol et de son site de référence, en milieu aride.

#### 3-2-1. Site pilote de Kourdehol

Les résultats de la **Figure 5** montre que les valeurs de NDVI du site de pilote de Kourdehol varient de 0,1 à 0,6. La première année, affiche des indices de végétation élevés, allant jusqu'à 0,5 dans la partie Est du site. Cet indice passe d'une structure multimodale, en 2017 à bimodale, en 2018, 2019 et 2020, mais cette fois ci avec des valeurs relativement supérieures à celles observées en 2016 (0,2 à 0,5).

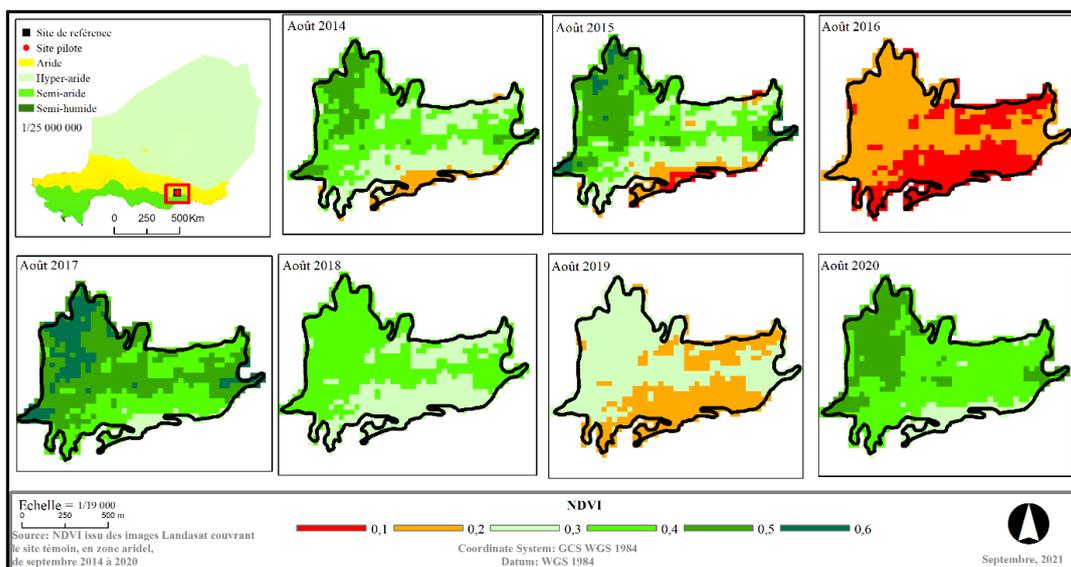


**Figure 5 :** Suivi de l'indice de végétation (NDVI) au niveau du site pilote de Kourdehol, en zone aride (août 2014 à 2020)

### 3-2-2. Site de référence

Beaucoup de similarité en termes de répartition végétale est observée entre le site pilote et le site de référence (**Figure 6**), les plus évidentes sont :

- L'indice de végétation du site de référence, en 2016 est aussi le plus faible (0,1 et 0,2) ;
- Le comportement végétal du site de référence, passe d'une structure multimodale, en 2017 à bimodale, en 2018, 2019 et 2020, mais cette fois ci avec des valeurs relativement supérieures à celles observées en 2016 (de 0,2 à 0,5).



**Figure 6 :** Suivi de l'indice de végétation (NDVI) au niveau du site de référence, en zone aride (août 2014 à 2020)

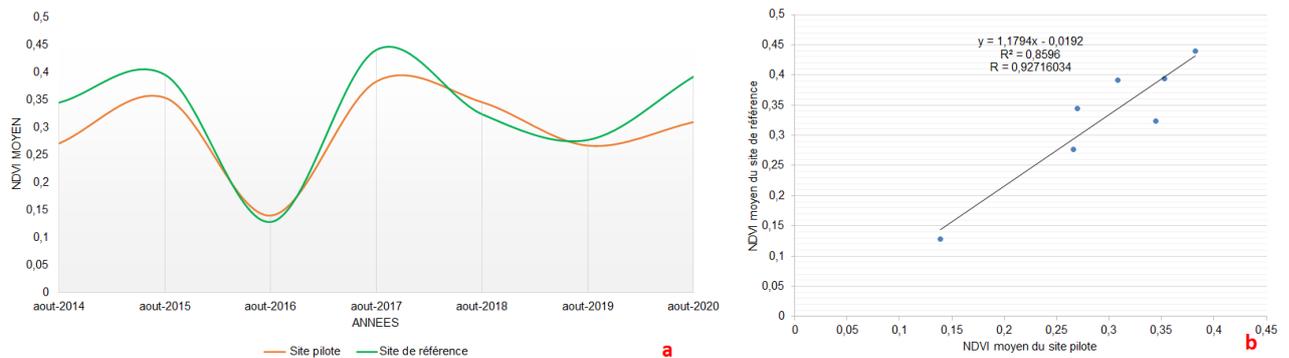
### 3-3. Évolution du NDVI au niveau du site pilote et de référence en zone aride

L'indice de végétation du site pilote de Kourdehol, en zone aride présente des indices de restauration positifs, en 2016 et 2018. Pour les autres années, on enregistre des indices de restauration négatifs (*Tableau 1*).

**Tableau 1 : Valeurs de l'indice de restauration des terres au niveau du site pilote de Kourdehol**

Années	NDVI moyen du Site pilote	NDVI moyen du site de référence
Août - 2014	0,269907	0,344339
Août - 2015	0,352628	0,394547
Août - 2016	0,138728	0,128032
Août - 2017	0,382344	0,439922
Août - 2018	0,344455	0,323011
Août - 2019	0,265674	0,276622
Août - 2020	0,30863	0,391471

L'évolution des deux courbes (site pilote et de référence) suit la même trajectoire (*Figure 7a*). La corrélation ( $r$ ) entre le site pilote et de référence est de 93 %, donnant lieu à un coefficient de détermination de 86 % (*Figure 7b*).



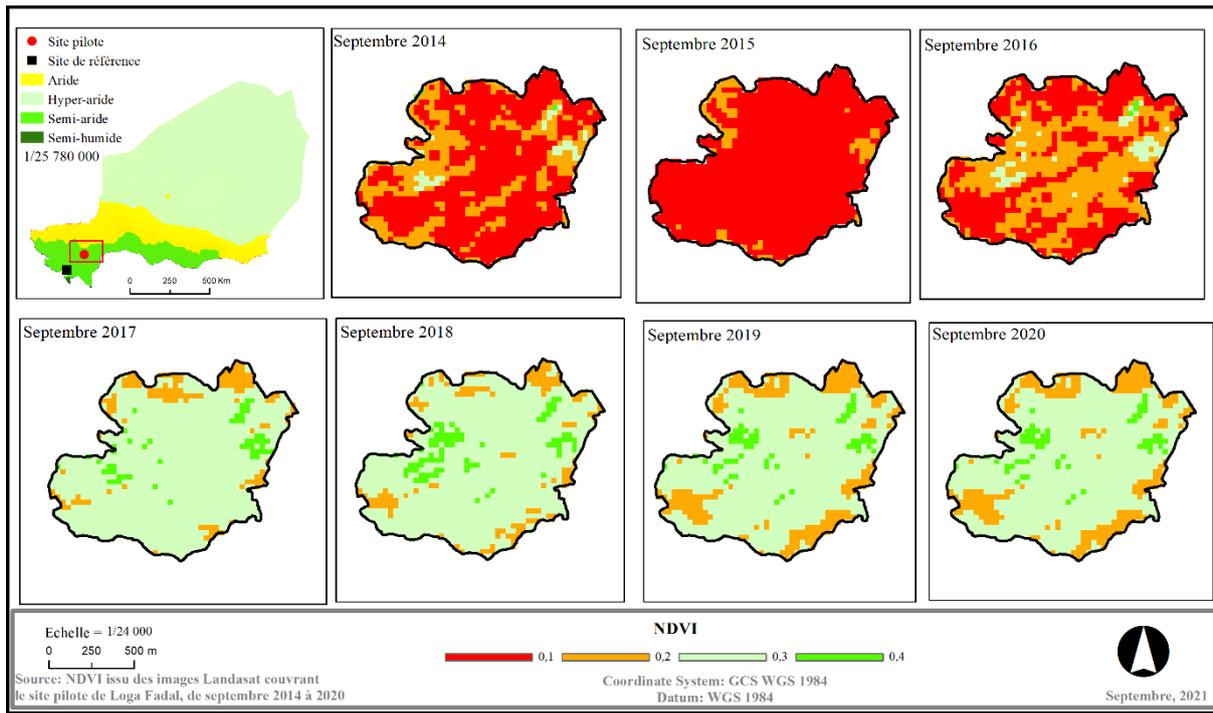
**Figure 7 : Comparaison des valeurs moyennes de NDVI, du site pilote et de référence, en zone aride, d'août 2014 à 2020**

### 3-4. Suivi de la restauration des terres dégradées en zone semi-aride

L'analyse de l'indice de végétation (NDVI) de 2014 à 2020 pour le mois de septembre au niveau du site pilote de Loga Fada et de son site de référence, montre une variation spatio-temporelle de la couverture végétale. Les valeurs du NDVI varient de 0,1 à 0,4 pour le site pilote et de 0,1 à 0,7 au niveau de son site de référence.

#### 3-4-1. Site pilote de Loga Fada

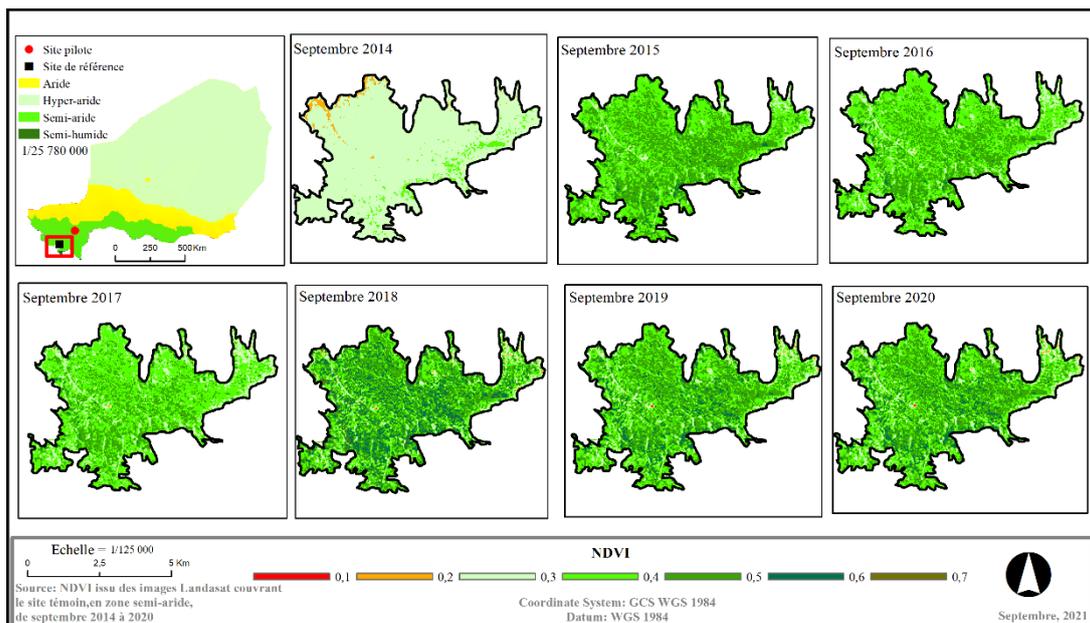
Les valeurs de NDVI les plus faibles, sont observées durant les trois premières années. Ensuite, on constate une augmentation de cet indice de 2017 à 2020 avec des valeurs variantes entre 0,2 et 0,3 (*Figure 8*).



**Figure 8 :** *Suivi de l'indice de végétation (NDVI) au niveau du site pilote de Loga Fada, en zone Semi-aride (août 2014 à 2020)*

### 3-4-2. Site de référence

En ce qui concerne le site de référence, en dehors de la première année, qui enregistre un indice maximal de 0,3 dans sa majeure partie, les autres années sont quasiment dominées par des indices allant de 0,4 à 0,5 repartis presque identiquement de 2015 à 2020 (**Figure 9**). Toutefois, l'année 2017 est la moins végétalisée tandis que 2018 est la plus végétalisée à partir de 2015.



**Figure 9 :** *Suivi de l'indice de végétation (NDVI) au niveau du site de référence, en zone Semi-aride (août 2014 à 2020)*

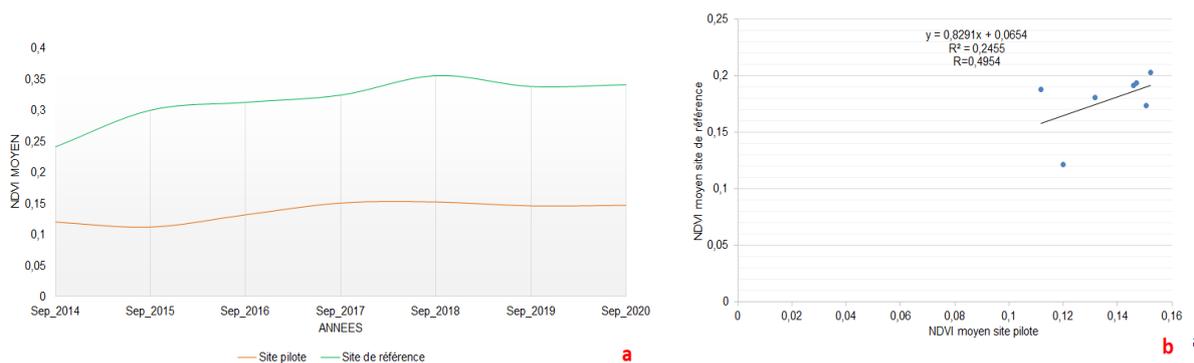
### 3-5. Évolution du NDVI au niveau du site pilote et de référence en zone semi-aride

En zone semi-aride, Le site pilote de Loga Fada présente des indices de restauration négatifs de 2014 à 2020 (*Tableau 2*).

**Tableau 2 :** *Calcul de l'indice de restauration des terres au niveau du site pilote de Loga Fada*

Années	NDVI moyen Site pilote	NDVI moyen Site de référence
Sep_2014	0,119835	0,121783
Sep_2015	0,11179	0,188351
Sep_2016	0,131689	0,180921
Sep_2017	0,15066	0,17347
Sep_2018	0,152256	0,203063
Sep_2019	0,145962	0,191865
Sep_2020	0,146962	0,193865

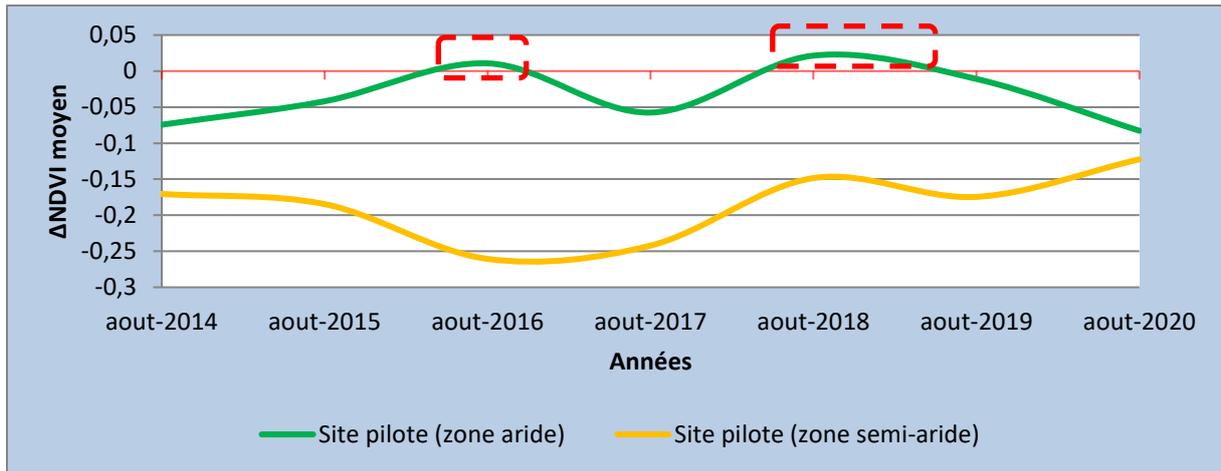
L'évolution des deux courbes (site pilote et de référence) suit à ce niveau aussi la même trajectoire (*Figure 10a*). Cependant, il se dégage une nette prédominance des valeurs moyennes d'indice de végétation du site de référence, de septembre 2014 à 2020. La corrélation ( $r$ ) entre le site pilote et de référence est faible, à peine 50 %, avec un coefficient de détermination de 25 % (*Figure 10b*).



**Figure 10 :** *Comparaison des valeurs moyennes de NDVI, du site pilote et de référence, en milieu aride, d'août 2014 à 2020*

### 3-6. Évaluation de la restauration des terres dégradées en zone aride et semi-aride

La *Figure 11* présente la variation de l'indice de végétation pour la restauration des terres dégradées au niveau des sites pilotes, de la zone Aride et Semi-aride, durant la période allant de août 2014 à 2020.



**Figure 11 :** Variation de l'indice d'évaluation de la restauration des terres dégradées ( $\Delta_{NDVI}$ ) au niveau des sites pilotes, en zone aride et semi-aride, de 2014 à 2020

Les principaux constats qui se dégagent de l'analyse de la figure 14 sont :

- Le site pilote de Kourdehol, en zone aride présente un indice de restauration des terres dégradées positif en 2016 et 2018 (encadré rouge). Ce qui signifie que l'indice de végétation au niveau de ce site a atteint et même dépassée celle du site de référence. Cependant, pour le restant des années, ce site est déficitaire par rapport au site de référence.
- Le site pilote de Loga Fada, en zone Semi-aride affiche quant à lui un indice de restauration des terres dégradées négatif de 2014 à 2020. Ceci indique que la végétation au niveau de ce site n'atteint pas celle observée au niveau du site de référence, par conséquent le site pilote de Loga Fada n'a pas enregistré de seuil de restauration des terres dégradées, du début des activités d'aménagement à 2020.

## 4. Discussion

### 4-1. Analyse de la restauration des terres dégradées

Sachant que la plupart des plantes sont en interaction directe avec le sol tout au long de leur existence, de la graine jusqu'aux débris végétaux, et reposent largement sur lui pour leur alimentation en eau, leur nutrition minérale et leur ancrage. Par conséquent, un sol en bonne santé est donc productif [13]. Ainsi, l'indice de végétation normalisé, choisi dans le cadre de cette étude est assez suffisant pour suivre et évaluer la restauration des terres dégradées au niveau des sites. Le suivi du profil hydrographique de 2000 à 2020 révèle qu'en zone aride le mois d'Août est le mois de la végétation active tandis qu'en zone semi-aride c'est le mois de Septembre. Ce qui explique la forte corrélation entre le cumul pluviométrique et le NDVI moyen [14]. Le fait de mener le suivi et l'évaluation de la restauration des terres dégradées pendant la période de maximum de végétation est due au fait que, toute portion de terre restée nue durant le mois d'août (en zone aride) et septembre (en zone semi-aride), le restera très probablement tout au long de l'année.

### 4-2. Suivi de la restauration des terres dégradées

La variation spatio-temporelle de l'indice de végétation au niveau des sites pilotes et de référence, en zone aride et semi-aride est liée aux conditions climatiques, notamment les précipitations dont le tapis herbacé en dépend directement [15] d'une part et aux pressions anthropiques d'autre part.

#### 4-2-1. Zone Aride

Les indices de végétation élevés, enregistrés en première année d'activité sur le site pilote de Kourdehole, en zone aride est due à la dégradation biologique, causée par la présence de *Sida cordifolia* qui est une espèce envahissante, à faible valeur bromatologique [16, 17]. Cependant c'est une espèce qui présente des activités chlorophylliennes élevées, facilement détectable par le proche infra-rouge [18]. La situation de ce site, en 2016 est caractérisée par des valeurs faibles d'indice de végétation, parce que c'est l'année où les espèces envahissantes sont complètement arrachées et où l'ensemencement des herbacés et des plantations utiles à la population riveraine commencent, à peine à s'installer au niveau du site. La structure bimodale de l'indice de végétation de 2018 à 2020 s'explique par le fait que l'ensemencement et la plantation d'arbre sont, non seulement mono-spécifiques mais aussi réalisés au même moment. Toutefois, le fait que le site de référence se comporte de la même façon que le site pilote explique d'une part, l'influence des facteurs climatiques sur cette zone et une trajectoire encourageante de restauration au niveau du site pilote d'autre part.

#### 4-2-2. Zone Semi-aride

L'observation des basses valeurs de 2014 à 2016 serait liée à des faibles précipitations, à la lenteur dans la mise en œuvre du projet ou à une mauvaise gestion du site à travers le manque de gardiennage ou la surexploitation du site, compte tenu de la densité humaine, plus élevée qu'en zone Aride [10]. L'augmentation du NDVI de 2017 à 2020 avec des valeurs variantes entre 0,2 et 0,3 au niveau du site pilote de Loga Fada indique une amélioration du matériel végétal sur le site. Ce qui résulte des activités CES/DRS effectuées au niveau du site [19]. Même si l'écart entre les deux courbes est élevé dans cette zone, le site pilote se comporte de la même façon que le site de référence, en zone semi-aride. Cependant, le comportement végétal au niveau du site de référence est lié à la pluviométrie [20]. Les conditions climatiques favorables aux interventions biologiques (plantations et ensemencement) faites au niveau du site pilote, en milieu Semi-aride ont permis au NDVI moyen de garder une valeur constante à partir de 2017.

### 4-3. Évaluation de la restauration des terres dégradées en zone aride et semi-aride

Le site pilote de Kourdehol, en zone aride présente un indice de restauration des terres dégradées positif, en 2016, trois ans après le début des activités de restauration des terres, avant de connaître la même situation deux ans plus tard, en 2018. Ce qui signifie que ce site a atteint un seuil de restauration au cours de ces deux années. En plus de cela, 86 % des valeurs d'indice de végétation du site de référence sont expliquées par celles enregistrées au niveau du site pilote de Kourdehol. Bien que la valeur seuil ne soit pas stable durant les 7 ans de suivi et que le coefficient de corrélation entre le site pilote et de référence est de 93 % nous nous réservons le droit de confirmer que le site de Kourdehol est restauré mais plus tôt suit une trajectoire de restauration. Cette performance enregistrée au niveau de ce site pilote s'explique du fait que les espèces végétales présentes dans le milieu sont dominées par des Mimosacées pour les ligneux (*Prosopis juliflora*) et des graminées pour les herbacés (*Schoenefeldia gracilis*). Ces espèces présentent des caractéristiques très proches de celles du site de référence. Le biomimétisme est donc la solution pour restaurer efficacement les terres dégradées [21]. Au niveau du site pilote de Loga Fada, L'indice de restauration, en zone Semi-aride présente des valeurs négatives durant toute la période, 2014 à 2020. Ce qui signifie, qu'aucun seuil de restauration des terres n'a par conséquent été enregistré. Aussi, seulement, 25 % ( $r = 50\%$ ) des valeurs d'indice de végétation du site de référence sont expliquées par celles enregistrées au niveau du site pilote de Loga Fada. De ce fait ce site n'est ni restauré ni ne suit une trajectoire de restauration. Cela est due au fait que l'*Acacia senegal* qui est l'espèce ligneuse plantée au niveau de ce site ne s'adapte pas aussi bien que les espèces locales (*Cassia siamea*, *Combretum micranthum*, *Guiera senegalensis*) qu'on

retrouve au niveau du site de référence. L'introduction des nouvelles espèces engendre une régénération lente et périlleuse, avec un taux de mortalité élevé. Il est donc judicieux qu'en fonction des spécificités de chaque région, que des techniques plus appropriées soient développées afin d'apporter une réponse plus adaptée aux questions de restauration, conservation et de récupération des sols [22].

## 5. Conclusion

Cette étude basée sur l'utilisation des données géospatiales pour l'évaluation de la restauration des terres en zone aride et semi-aride au Niger a permis de déduire ce qui suit : D'une part, en milieu Aride tout comme en milieu Semi-aride, les sites pilotes (Kourdehol et Loga Fada), présentent des indices de restauration des terres différents de 2014 à 2020. D'autre part, le site pilote de Kourdehol (en zone Aride) est sur une trajectoire de restauration des terres, tandis que le site pilote de Loga Fada (en zone Semi-aride) n'est ni restauré, ni sur une trajectoire de restauration. Il garde le statut de site traité. En tout état de cause le respect des normes techniques des ouvrages CES/DRS, la pluviométrie, le biomimétisme, le gardiennage et la gestion rationnelle des ressources constituent les facteurs inhérents pour qu'un site atteigne le seuil de restauration et le maintien. En définitive, au vu de l'importance du sujet, de la variabilité bioclimatique et anthropique il est préjudiciable de conduire des études pour déterminer une valeur seuil de restauration par zone agro climatique. Aussi, compte tenu des différentes approche méthodologiques dans ce domaine des seuils de restaurations biophysiques et socio-économiques constituent des pistes de recherches.

## Références

- [1] - UNDP, Bilan environnementale du Niger. Rapport, Niger, (2002) 141 - 163 p.
- [2] - CNEDD, Situation de référence sur la Neutralité en matière de Dégradation des Terres (NDT) et cibles nationales au Niger. Rapport, (2017) 72 p.
- [3] - D. PIERRE, Les références en écologie de la restauration, article. Ecole Nationale Supérieur du paysage de Versailles, (2002) 109 - 119 p.
- [4] - J. ARONSON & E. Le FLOC'H, Écologie de la restauration, définition de quelques concepts de base. *Nat. Sci. Soc*, 3 (1995) 29 - 35 p.
- [5] - P. BAZIN & B. GENEVIEVE, Du suivi à l'évaluation : à la recherche d'indicateurs opérationnels en écologie de la restauration. *Rev. Écol. (Terre Vie)*, supplément 9, (2002) 201 - 224 p.
- [6] - S. CRISTOFOLI, G. MAHY, Restauration écologique : contexte, contraintes et indicateurs de suivi, ULg - Gembloux Agro-Bio Tech. Laboratoire d'Écologie. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14 (1) (2009) 203 - 211 p.
- [7] - P. S. LAKE, On the maturing of restoration : linking ecological research and restoration. *Ecol. Manage. Restoration*, 2 (2001) 110 - 115 p.
- [8] - S. I. MOUSSA, Analyse de la dégradation des terres et des impacts des mesures anti-érosives dans la commune de Kourthey : Sansane haoussa, Mémoire, Département de géographie, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, (2006) 92 p.
- [9] - P. S. WHITE & J. L. WALKER, Approximating nature's variation : selecting and using reference information in restoration ecology. *Restoration Ecol*, 5 (4) (1997) 338 - 349 p.
- [10] - CNSEE, Evaluation de la biomasse fourragère 2017 des sites traités du PAC-RC. Rapport, République du Niger, Ministère de L'environnement et du Développement durable, (2017) 121 p.
- [11] - CNSEE, Evaluation de la biomasse fourragère 2016 des sites restaurés du PAC-RC. Rapport, République du Niger, Ministère de L'environnement et du Développement durable, (2016) 131 p.

- [12] - M. ROBIN, J.-L. CHAPUIS & M. LÉBOUVIER, Remote sensing of vegetation cover change in islands of the Kerguelen archipelago. *Polar Biology*, 34 (2011) 1689 - 1700 (A prouver que le NDVI est le plus adéquat)
- [13] - G. T. FRESCHE, C. VIOLLE, C. ROUMET & E. GARNIER, Interactions entre le sol et la végétation : structure des communautés de plantes et fonctionnement du sol. Les sols au cœur de la zone critique : écologie (eds P. Lemanceau & M. Blouin), ISTE editions, London, UK pp, (2018) 83 - 99
- [14] - P. NATHALIE, M. NADEGE, C. PIERRE, R. YVES, Impact des précipitations sur l'activité photosynthétique de la végétation en Afrique semi-aride sub-saharienne, Journées de Climatologie — Nantes, 13-14 mars 2008. Climat et société : Climat et végétation, (2008) 77 - 90 p.
- [15] - A. RAZAGUI et N. E. I. BACHARI, Analyse spatio-temporelle de l'indice de végétation NDVI calculé à partir des images satellites NOAA et MSG. *Energies Renouvelables* Vol. 17, N° 3 (2014) 497 - 506 p.
- [16] - I SOUMANA, S. B. AYSSIWEDE, S. ISSA & A. MISSOHOU, Effects of supplementation with concentrate multi-nutritional blocks containing *Sida cordifolia* L, an invasive plant, on zootechnical performances and economics results of young Balami sheep in Dereki/Dosso (Niger). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, ISSN 2028-9324, Vol. 15, N° 3 (Apr. 2016) 716 - 730 p.
- [17] - S. M. SADI, S. A. KIARI, B. MOROU, G. SYNNEVAG et J. B. AUNE, Perception paysanne du sida cordifolia L. et facteurs socioéconomiques influençant l'adoption de son compost à l'ouest et au centre du Niger, ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 35 (2020) 345 - 369 p.
- [18] - S. NADJETTE, Etude de la biodiversité du couvert végétale et cartographie de l'occupation du sol autour du barrage de Fontaines des gazelles (Biskra). Masters thesis, Université Mohamed Khider Biskra, (2018) 104 p.
- [19] - A. S. MOUSSA, A. M. MANSSOUR et A. M. ZOUBEIROU, Contraintes d'adoption des innovations technologiques de récupération des sols dans la production agricole : cas de Ouallam dans l'Ouest du Niger, ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.ne>, *Afrique SCIENCE*, 16 (3) (2020) 186 - 199 p.
- [20] - SOUKEYE CISSE, Etude de la variabilité intra saisonnière des précipitations au Sahel : impacts sur la végétation (cas du Ferlo au Sénégal). Climatologie. Université Pierre et M. CURIE., 2016 - Paris VI ; Université Cheikh Anta Diop (Dakar), (2016) 160 p.
- [21] - L. KAMILI, « Biomimétisme et bio-inspiration : nouvelles techniques, nouvelles éthiques ? », Techniques & Culture [Online], Varia, 2019 M. Meyer & P. Pitrou (dir.) Anthropologie de la vie et des nouvelles technologies, (2020)
- [22] - DGAHDI, Stratégie nationale de restauration, conservation et récupération des sols au Burkina Faso 2020 — 2024, version finale, Ministère de L'Agriculture et des Aménagements Hydro-Agricoles, Secrétariat General, Direction Générale Des Aménagements Hydrauliques et du Développement de l'Irrigation, (2019) 59 p.
- [23] - CNULCD, Programme de définition des cibles de neutralité en matière de dégradation des terres, Définition des cibles de neutralité en matière de dégradation des terres -Un guide technique, (2016) 69 p.
- [24] - I. BIGA, A. AMANI, I. SOUMANA, M. BACHIR, A. MAHAMANE, Dynamique spatio-temporelle de l'occupation des sols des communes de Torodi, Gothèye et Tagazar de la région de Tillabéry au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14 (3) (2020) 949 - 965
- [25] - S. BARMO, A. AMANI, A. IDRISSE, M. BACHIR, A. MAHAMANE, Cartographie et dynamique spatio-temporelle des formations végétales de la forêt protégée de Baban Rafi (Niger). *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 9 (1) (2021) 64 - 72
- [26] - D. M. MOUSSA, A. D. TIDJANI, IBRAHIM KADAOURE et J-M K AMBOUTA, Dynamique d'occupation des sols de l'oasis de Fachi dans le désert du Ténéré (Nord- Est) du Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 17 (4) (2023) 1310 - 1322