



**Master GAED**  
**Spécialité**  
**Développement Durable**  
**Local et Solidaire**



Anticiper le changement  
climatique dans les  
Jawadhu Hills  
(Tamil Nadu, Inde) :  
entre perceptions et  
stratégies des agriculteurs



**Noémie ATEK**, Master 2 GAED, U.F.R Lettres, Langues et Sciences Humaines,  
Université d'Orléans

Sous la direction universitaire de M. Bertrand SAJALOLI, Maître de Conférences au sein du  
département de Géographie de l'Université d'Orléans

Maître de stage : M. Kenin RAJKUMAR, responsable du programme LEADER, au sein de la  
*DHAN Foundation*

Soutenu le 28 septembre 2023

Année universitaire : 2022 - 2023

Université d'Orléans

UFR : Lettres, Langues et Sciences Humaines

**Noémie Atek,**

Master 2 GAED : Géographie, Aménagement, Environnement et Développement

Parcours DDLS : Développement Durable, Local et Solidaire : France, Sud(s) et Pays émergents

## Anticiper le changement climatique dans les Jawadhu Hills (Tamil Nadu, Inde) : entre perceptions et stratégies des agriculteurs

Sous la direction universitaire de M. Bertrand SAJALOLI, Maître de Conférences au sein du département de Géographie de l'Université d'Orléans

Maître de stage : M. Kenin RAJKUMAR, responsable du programme LEADER, au sein de la *DHAN Foundation*

Soutenu le 28 septembre 2023

Année universitaire : 2022 – 2023

## Remerciements

Je souhaite en premier lieu remercier Bertrand Sajaloli et Laura Verdelli, à la direction du projet PATAMIL, qui m'ont fait confiance pour la réalisation de cette étude inédite dans les Jawadhu Hills. J'ai une sincère reconnaissance pour Bertrand Sajaloli, directeur de ce mémoire dont les conseils, son soutien sans faille tout au long du séjour et son expertise ont été déterminant dans l'aboutissement de ce travail. Mon aventure en Inde du Sud a été permise par le financement de la région Centre-Val de Loire, dans le cadre du projet PATAMIL que je remercie grandement. Je remercie également le laboratoire du CEDETE de l'Université d'Orléans pour son soutien.

Mon séjour et mon travail dans les Jawadhu Hills se sont bien déroulés grâce à l'accueil de l'équipe de Jamunamarathur de la *DHAN Foundation* que je remercie, dont P. Anitha, J. Ganeshkumar, A. Babu et K. Moorty qui m'ont accompagné au mieux dans mon travail et dans mon quotidien. Ils ont également facilité les échanges avec les habitants et assurés la traduction des entretiens. Je remercie également mon maître de stage, K.N Rajkumar avec qui les discussions ont été constructives. Je suis reconnaissante envers K.P Barathi, consultant sur le programme de Développement du Tourisme à la *DHAN Foundation*, grâce à qui j'ai découvert les usages et coutumes indiennes lors de séjours à Madurai et à Tiruvannāmalai. Par ailleurs, je tiens à remercier le directeur exécutif de la *DHAN Foundation* pour son accueil mais encore toutes les personnes de l'ONG qui ont participé de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Je suis reconnaissante envers le professeur S. Sumathi et la doctorante S. Manjubarkavi de l'Université de Madras dont les travaux ethnographiques sur les *Malayalis* ont été structurant pour cette étude. Une attention particulière est portée à S. Manjubarkavi qui m'a accompagné lors de quelques entretiens pour assurer la traduction. Je remercie par la même occasion tous les agricultrices et agriculteurs rencontrés qui ont donné de leur temps pour partager leurs expériences et leurs regards éclairants sur les enjeux des Jawadhu Hills, tout ce ceci dans la bienveillance. Ces moments ont été précieux par leur apport majeur pour ce travail mais encore pour l'expérience humaine qu'ils m'ont offerte.

Je tiens à remercier Julien Andrieu, responsable du Département de géomatique à l'Institut Français de Pondichéry, qui a été d'une aide essentielle pour la réalisation de cartographies. Également membre de l'IFP, Frédéric Landy dont les commentaires avisés et ses références bibliographiques m'ont été précieux. Plus généralement, je remercie l'Institut Français de Pondichéry qui m'a toujours accueilli et proposé un cadre de travail de qualité.

Ma gratitude va aussi à Oumar Marega, enseignant-chercheur et maître de conférences en Géographie à l'Université d'Orléans, ses précieux conseils ont contribué à la réalisation de l'étude climatologique.

Lucie Duperray, chargée de suivi coopération de la Région Centre-Val de Loire a été d'un grand soutien lors de mon séjour, par sa connaissance du territoire, sa gentillesse et sa disponibilité, je la remercie sincèrement pour cela.

Je remercie également Maëva Rzegoczan, avec qui j'ai partagé quatre mois d'aventure en Inde du Sud. Malgré les difficultés et les aléas rencontrés nous sommes restées solidaires. Ce travail est le fruit d'une collaboration instructive, enrichi par nos discussions.

Enfin, j'exprime ma gratitude à ma famille et mes proches pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements tout au long de ce travail.

## Résumé

Alors que la majorité des terres agricoles du bloc Jawadhu Hills, territoire rural de moyennes montagnes situé dans le district de Tiruvannāmalai, est consacrée à la culture pluviale de millets, la dépendance au régime de précipitations rend les agriculteurs vulnérables à la variabilité naturelle de la mousson. Dans un système agricole et alimentaire dominé par une agriculture de subsistance, l'emballement climatique mondial risque d'augmenter cette variabilité spatiotemporelle et donc menace la sécurité alimentaire de la population. Les études sur l'évolution des précipitations à l'échelle du district et du bloc ne permettent pas d'affirmer l'existence du changement climatique dans les Jawadhu Hills. Cependant l'enquête auprès des agriculteurs caractérise les perturbations climatiques qui affectent leurs activités agricoles. Alors, pour améliorer leurs conditions de vie, les agriculteurs et les acteurs locaux, collaborent dans l'élaboration de stratégies d'anticipation. Le changement de pratiques agricoles, l'installation de *stone-bund* ou encore la rénovation d'étangs collectifs semblent être des leviers d'actions d'atténuation et d'adaptation à la variabilité climatique, qu'elle soit d'origine naturelle ou anthropique.

Mots-clés : changement climatique – sécurité alimentaire - anticipation – variabilité - adaptation – atténuation – calendrier agricole

While most of the agricultural land in the Jawadhu Hills block, a mid-mountain rural area in the Tiruvannāmalai district, is to rain-fed millets, the dependence on rainfall patterns makes farmers vulnerable to the natural variability of the monsoon. In an agricultural and food system dominated by subsistence farming, the global climate change is likely to increase this spatiotemporal variability and thus threatens the population's food security. The climatological studies in district and block level doesn't support the existence of climate change in the Jawadhu Hills. However, a survey with farmers revealed that climate disruption is affecting their farming activities. So, to improve their living conditions, farmers and local stakeholders are working together to develop anticipatory strategies. Adapting farming practices, installing stone-bunds and renovating community ponds appear like a way of mitigating and adapting to climate variability, whether it's natural or man-made.

Keys words : climate change – food security – anticipatory – variability - adaptation – mitigation – farming calendar

## Sommaire

Introduction.....	1
1. Les Jawadhu Hills, un territoire tribal pionnier dans la redécouverte des millets et dans l'anticipation au changement climatique.....	7
1.1 Les Jawadhu Hills, une terre tribale essentiellement rurale et agricole du Sud de l'Inde.....	9
1.2 Les Jawadhu Hills, un lieu d'intervention historique de la DHAN Foundation..	53
1.3 Le projet PATAMIL, une recherche action multi-acteurs en faveur de la justice alimentaire, de la sensibilisation au changement climatique et la lutte contre la pauvreté et l'indignité.....	62
2. Le changement climatique, incantation utile ou réalité effective ?.....	71
2.1 Quels sont les marqueurs du changement climatique dans un pays qui connaît naturellement de grandes variabilités climatiques ?.....	73
2.2 L'étude des précipitations dans le district de Tiruvannāmalai pour comprendre les impacts du changement climatique.....	91
2.3 L'étude du changement climatique dans les Jawadhu Hills limitée par la disponibilité des données.....	111
3. Entre perception et anticipation, l'étude du changement climatique à travers le regard des agriculteurs des Jawadhu Hills.....	127
3.1 L'érosion du sol, un enjeu pour les agriculteurs des Jawadhu Hills.....	129
3.2 La sécurité alimentaire des agriculteurs des Jawadhu Hills menacée par les variabilités climatiques ?.....	154
3.3 Entre augmentation des températures et des événements extrêmes météorologiques, quels leviers pour l'avenir agricole des Jawadhu Hills ?.....	170
Conclusion.....	186

## Introduction

En mars 2023, le sixième rapport de synthèse du Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) met une nouvelle fois en avant l'existence du changement climatique d'origine anthropique et montre son accélération. Les activités humaines sont responsables d'un réchauffement planétaire avec une augmentation observée de 1,1°C en 2010-2020 par rapport à 1850-1900. Ce réchauffement, principalement dû à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, a subi une accélération à partir de 1970. Elle est expliquée par l'utilisation non durable de l'énergie, des terres, des modes de production et de consommations des sociétés humaines. L'atmosphère, les océans, la cryosphère et la biosphère connaissent des changements rapides et généralisés. Ces perturbations prennent la forme de phénomènes extrêmes tels que les vagues de chaleur, les fortes précipitations, les sécheresses et les cyclones tropicaux, marqueurs du changement climatique. L'influence humaine a probablement augmenté le risque d'événements extrêmes composés depuis les années 1950 y compris l'augmentation de la fréquence des vagues de chaleur et des sécheresses simultanées. Le mois de juillet 2023 a battu le record du mois le plus chaud jamais enregistré sur Terre avec 0,33°C de plus que le mois de juillet 2019 précédent détenteur du record. La température de l'air était plus chaude de 0,72°C que la moyenne récente 1991-2020 pour les seuls mois de juillet. La température de la surface des Océans a également battu de nouveaux records avec une température supérieure de 0,51°C par rapport à la moyenne de 1991-2020 (Le Point, 2023).

Ces phénomènes extrêmes provoquent des pertes et des dommages sur la disponibilité en eau, la production agricole, la santé humaine et son bien-être, les villes et les infrastructures, la biodiversité et les écosystèmes. En outre, les incidences négatives touchent les populations et la nature de manière inégale selon les pays, les régions et les individus. Par exemple, les extrêmes climatiques et météorologiques entraînent de plus en plus de déplacements en Afrique, en Asie, en Amérique du Nord, en Amérique Centrale et en Amérique du Sud. Les États insulaires des Caraïbes et du Pacifique du sud subissent des conséquences disproportionnées par rapport à la taille réduite de leur population et de leur contribution dans le changement climatique. En effet, le GIEC estime qu'il y a environ 3,3 à 3,6

milliards de personnes qui vivent dans des contextes très vulnérables au changement climatique, bien souvent ces mêmes populations rencontrent des contraintes de développement ce qui expliquent leur vulnérabilité plus accrue. Cela concerne principalement les régions d'Afrique, d'Asie, d'Amérique Centrale et du Sud, les petites îles et l'Arctique. La situation socio-économique des populations constitue également un paramètre influençant leur vulnérabilité aux phénomènes climatiques et météorologiques extrêmes, c'est le cas des peuples autochtones, des ménages à faible revenus et des petits producteurs de denrées alimentaires (GIEC, 2023).

En tant que deuxième pays le plus étendu d'Asie, qu'en est-il des manifestations du changement climatique en Inde ? La situation nationale reflète les tendances mondiales, le mois de février 2023 a été le plus chaud enregistré en Inde depuis un siècle (Les Echos, 2023). Les villes souffrent de vagues de chaleur intense, le 18 juin la ville de Ballia dans l'État de l'Uttar Pradesh (nord de l'Inde) connaissait une température de 42,2°C soit 4,7°C au-dessus de la normale saisonnière (Loiseau, 2023). L'Inde du nord est également connue pour ses inondations à répétition, en 2022 puis en 2023 durant la mousson indienne, qui provoquent des glissements de terrain dramatiques (Euro News, 2023). À la suite d'épisodes de pluies diluviennes, la rivière Yamuna, affluent du Gange, a atteint son niveau le plus élevé jamais enregistré en juillet 2023, bordant les rives de l'emblématique Taj Mahal (Chen et Pokharel, 2023). Cette année est également marquée par le cyclone *Biparjoy* classé comme très sévère qui a touché les côtes indiennes mi-juin provoquant le déplacement de près de 180 000 personnes par mesures de sécurité (AFP, 2023).

Le pays semble cumuler tous les extrêmes climatiques et météorologiques portant atteinte à la sécurité de la population. Les perturbations concernant le régime de précipitations du pays, la mousson indienne, sont déterminantes pour l'Inde. En effet, la mousson assure à la fois la pérennité de l'activité agricole et la ressource en eau potable nationale. Pour le pays le plus peuplé du monde avec un peu plus de 1,4 milliards d'habitants, l'activité agricole représente 50% des actifs au moins en temps partiel et le dernier recensement de 2011 indique que 69% de la population est rurale (Landy, 2022). Ce sont donc près de 700 000 millions d'habitants qui dépendent directement de l'activité agricole que ce soit pour l'autoconsommation ou pour la revente, et bien davantage qui compte sur cette ressource pour se nourrir. Décrite comme une agriculture de l'émiettement, avec une taille moyenne

d'exploitation d'un hectare, sans compter les paysans sans terre, l'héritage de la Révolution verte a laissé un système agricole fragmenté : entre agriculture pluviale de céréales traditionnelles comme les millets et agriculture irriguée de variété à haut rendement telles que le blé et le riz, nécessitant l'usage d'intrants chimiques. Les séquelles des famines meurtrières qu'a connu l'Inde ont fait de l'autosuffisance alimentaire un objectif national, la priorité est donc à la productivité. Le système agricole et alimentaire indien est également le théâtre des inégalités sociales longtemps définies par le système de castes, dans lequel les millets sont considérés comme la nourriture des pauvres et le riz blanc est sacralisé. Cependant, ces dernières années un renversement de cette tendance est observé auprès de la classe moyenne indienne dont l'intérêt pour les millets est attisé par ses qualités nutritionnelles plus intéressantes que le riz. Par ailleurs, 2023 a été déclarée comme Année internationale du mil par les Nations Unies, afin de valoriser la production et la commercialisation des millets à la fois pour ses avantages nutritionnels et sa résistance face au changement climatique (FAO, 2023). En effet, sobre en besoin en eau et en engrais, la culture des millets demande peu de travail manuel et semble offrir une solution face aux enjeux alimentaires et climatiques de l'Inde.

Certains territoires se distinguent par la dominance de cette agriculture traditionnelle, c'est le cas des Jawadhu Hills situés dans le district de Tiruvannāmalai , au nord de l'État du Tamil Nadu (sud-est de l'Inde). En bout de chaîne des Ghâts Occidentaux, c'est la principale zone à relief du district de Tiruvannāmalai . Territoire rural essentiellement habité par la tribu des *Malayalis*, 90% des terres agricoles sont dédiées à l'agriculture pluviale de millets. Avec 68% des agriculteurs qui possèdent une exploitation égale ou inférieure à 1ha, le système agricole et alimentaire des Jawadhu Hills est caractérisé par une agriculture de subsistance qui dépend fortement de la pluie (Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2015-16). Le profil socio-économique et agricole des populations des Jawadhu Hills, les *adavasis*, est donc vulnérable à la variabilité naturelle de la mousson indienne. Ainsi, la sécurité alimentaire des locaux et en particulier des agriculteurs est déjà un enjeu pour le territoire. Dans un contexte de changement climatique, qu'en est-il de la sécurité agricole et alimentaire dans les Jawadhu Hills ?

À ce jour le territoire des JH a déjà fait l'objet de quelques travaux comme celui de Chloé Burgaudeau en 2018 sur la place des céréales à petits grains dans le système productif

agricole des Jawadhu Hills, encadré par l'Institut française de Pondichéry. La *DHAN Foundation*, ONG indienne qui œuvre pour la réduction de la pauvreté, est à la tête de plusieurs programmes de recherche-action de développement rural et de promotion des millets depuis 2011. En 2018, l'ONG indienne a mis en place un nouveau programme transversal dédié à l'adaptation du changement climatique dans les Jawadhu Hills qui allient des enjeux agricoles, environnementaux et liés à la ressource en eau. En dehors de ces travaux, des études ethnographiques consacrées aux *Malayalis* ont été réalisées par le professeur S. Sumathi et la doctorante S. Manjubarkavi (2015) de l'Université de Madras (Chennai). Les travaux menés dans les Jawadhu Hills sont donc assez récents et aucune étude scientifique sur la caractérisation du changement climatique et son impact sur les systèmes agricoles et alimentaires dans les Jawadhu Hills n'a été menée. C'est pourquoi, cette étude consacrée à l'anticipation du changement climatique des agriculteurs dans les Jawadhu Hills est inédite et légitime.

Ce travail s'inscrit dans le programme de recherche-action Projet Alimentaires Territoriaux-TAMIL Nadu (PATAMIL), issu d'une coopération décentralisée entre les régions du Centre-Val de Loire et du Tamil Nadu. Le programme PATAMIL associe sciences agronomiques, sciences humaines et promotion de la gastronomie traditionnelle dans le but de développer des systèmes agricoles et alimentaires équitables et durables. Dans le cadre de cette coopération financée par la région Centre-Val de Loire (2022-2025), PATAMIL regroupe des acteurs transversaux des deux pays afin d'échanger des savoirs et expériences porteuses de sens en faveur d'une justice alimentaire. À travers ce programme, les questions d'anticipation du changement climatique sont abordées par le biais de l'évolution des pratiques agricoles et alimentaires. En parallèle, un travail est également dédié à la diffusion des millets dans les Jawadhu Hills mené par Maëva Rzegoczan, étudiante en Master 2 Géographie à l'Université d'Orléans. Par son contexte agricole et l'action *in situ* du principal partenaire indien du programme la *DHAN Foundation*, le territoire des Jawadhu Hills est un terrain d'étude propice au changement climatique. C'est pourquoi, la mission menée dans les Jawadhu Hills s'articule autour de plusieurs objectifs : caractériser les manifestations du changement climatique dans le territoire ; mesurer ses effets sur les milieux naturels et les activités agricoles ; recenser les mesures adoptées par la *DHAN Foundation* et estimer leur efficacité. Ces travaux sont

encadrés par le laboratoire du CEDETE<sup>1</sup> de l'Université d'Orléans et s'appuient sur le suivi des mesures d'anticipation du changement climatique mises en place par la *DHAN Foundation* dans l'antenne local de Jamunamarathur.

Le sujet amène à plusieurs problématiques qui structurent l'étude. Avant de se concentrer sur les mesures d'anticipation du changement climatique proposées par la DF, l'observation d'un phénomène planétaire à une échelle aussi localisée que celle des Jawadhu Hills pose question. L'échelle spatiale réduite de l'étude, les spécificités paysagères des JH et le caractère aléatoire de la mousson sont autant de facteurs qui complexifient l'étude du changement climatique dans les Jawadhu Hills. Alors qu'il est observé par les scientifiques et vécu par la population en Inde, **peut-on parler de changement climatique dans les Jawadhu Hills ou s'agit-il juste de manifestations de la variabilité climatique inhérente au climat de mousson ?** Quels sont les marqueurs du changement climatique à l'échelle nationale et sont-ils observables à une échelle plus localisée ? Comment se caractérise les perturbations d'ordre climatique dans le quotidien des agriculteurs des Jawadhu Hills ? Quelles sont leurs perceptions de ces manifestations et leurs réactions dans le cadre de leur activité agricole ? **Entre adaptation et atténuation, quelles sont les stratégies adoptées par les agriculteurs et acteurs locaux des Jawadhu Hills pour anticiper le changement climatique ?** En quoi ces manifestations menacent la sécurité alimentaire des *adavasis* ? Quels sont les leviers pour améliorer les conditions de vie des agriculteurs des Jawadhu Hills ?

Pour tenter de répondre à ces questionnements, ce travail a mobilisé les études de scientifiques de la sphère internationale, la synthèse de données secondaires sur le changement climatique et le climat indien a d'abord été privilégié, structurant le reste de l'étude. Puis, des études sur les précipitations à l'échelle du district de Tiruvannāmalai et du bloc des Jawadhu Hills ont été réalisées à partir de données climatologiques brutes fournies par les instances indiennes, la *DHAN Foundation* et l'Observatoire astronomique *Vainu Bappu*. Enfin, les observations de terrain avec la *DHAN Foundation* ont complété l'enquête réalisée auprès des agriculteurs des Jawadhu Hills en mai et juin 2023. Ainsi, l'apport de ce travail réside à la fois dans le traitement de données quantitatives locales et la réalisation d'une enquête qualitative au plus proche du quotidien des agriculteurs des Jawadhu Hills. Une fois les

---

<sup>1</sup> Centre d'Études pour le Développement des Territoires et l'Environnement

caractères spécifiques des Jawadhu Hills définis à travers la présentation de son contexte géographique, ethnographique et économique, les préceptes et actions de la *DHAN Foundation* dans les Jawadhu Hills sont détaillés. Après la définition des notions cadres du programme PATAMIL et des acteurs mobilisés, l'intérêt de cette étude et son organisation de mars à juillet 2023 sont expliqués. La deuxième partie est structurée selon une approche scalaire, du national au local, et questionne l'usage du terme de changement climatique dans un contexte territorial qui connaît naturellement des variabilités climatiques. D'abord, les manifestations du changement climatique à l'échelle nationale sont exposées ainsi que les mécanismes qui influencent la mousson indienne. Ensuite, l'étude climatologique du district de Tiruvannāmalai démontre en quoi le changement climatique est observable selon l'évolution des précipitations. Puis, il est illustré, par la comparaison limitée des tendances de précipitations entre le district de Tiruvannāmalai et le bloc des Jawadhu Hills et l'existence de microclimat que l'observation du changement climatique dans les JH n'est pas évidente. Enfin, la dernière partie apporte des éléments éclairant sur les perturbations climatiques observés dans les JH à travers le regard des agriculteurs. Ainsi, les principales manifestations et leurs conséquences sur les activités agricoles sont détaillées et soulèvent des enjeux liés à l'érosion du sol, la perturbation du calendrier agricole et la gestion de la ressource en eau qui portent atteinte à la sécurité alimentaire des agriculteurs. Le dernier chapitre de cette partie est consacré à un travail de prospection climatologique et cherche à définir les leviers d'actions des acteurs locaux et des agriculteurs pour améliorer leur condition de vie et anticiper au mieux les effets du changement climatique.

# 1. Les Jawadhu Hills, un territoire tribal pionnier dans la redécouverte des millets et dans l'anticipation au changement climatique

L'État indien du Tamil Nadu est l'une des cinq régions prioritaires de la politique de coopération décentralisée de la Région Centre-Val de Loire. Le programme PATAMIL est le fruit d'une coopération multi-acteurs entre les deux régions, mettant au centre de ses objectifs la lutte contre l'injustice alimentaire. Dans le cadre de ce programme, deux territoires indiens ont été sélectionnés. D'un côté, Pondichéry, zone urbaine qui a fait l'objet de travaux universitaires sur les politiques agricoles et la filière des millets en 2023 encadrés par l'Institut Français de Pondichéry (IFP), très impliqué dans les questions de transition alimentaire. De l'autre, les Jawadhu Hills, territoire rural de moyennes montagnes, investis par la sphère académique comme l'IFP et l'Université de Madras mais aussi terre d'action du principal partenaire associatif indien de PATAMIL, la *DHAN Foundation*. Les deux mémoires réalisés, au sujet de la diffusion des millets et de l'adaptation au changement climatique dans l'agriculture des Jawadhu Hills, supervisés par le laboratoire CEDETE de l'Université d'Orléans, s'inscrivent donc dans des interactions franco-indiennes de la sphère académique et non académique présentes sur le territoire. Afin d'approfondir les réflexions de PATAMIL sur l'équité alimentaire, des ressources scientifiques et officielles sont étudiées, complétées par l'analyse des initiatives locales de la *DHAN Foundation*. L'ONG indienne est donc le principal référent *in situ* des études menées dans les Jawadhu Hills.

Cette partie commune aux mémoires de N. Atek et M. Rzegoczan, pose le cadre conceptuel de leur étude et situe les défis auxquels font face les agriculteurs des Jawadhu Hills à partir du contexte national indien. L'Inde est un pays aux multiples facettes autant par la diversité de ses paysages que par la culture de ses habitants. Ce territoire d'Asie du Sud est récemment devenu le plus peuplé du monde. Face à la croissance démographique, la sécurité alimentaire est un des enjeux majeurs des politiques du gouvernement central. Cependant, l'agriculture indienne subit conséquences du changement climatique mais également de la Révolution Verte débutée dans les années 1960, caractérisées par un épuisement des ressources en eau, une baisse de la qualité des sols et la pollution par les intrants chimiques.

Pour répondre à ce défi, l'Inde met en avant la culture des millets, céréales traditionnelles du pays. À partir de l'étude de la situation actuelle du pays, comment se distingue le système agricole et alimentaire des Jawadhu Hills ? Quelles sont les spécificités territoriales qui suscitent un intérêt scientifique dans le cadre de PATAMIL ? Pourquoi l'étude du changement climatique dans un territoire dominé par l'agriculture traditionnelle des millets ? Quelles réponses sont apportées par la *DHAN Foundation* aux problématiques du territoire en faveur de la souveraineté alimentaire et de la justice sociale ?

Pour répondre à ces questionnements, une étude multiscalaire est proposée à travers la présentation des systèmes socioculturels, géoclimatiques et agricoles indiens, définissant les enjeux territoriaux des Jawadhu Hills. Puis, à l'aide du rapport d'activité de la *DHAN Foundation* réalisé par C. Rigal et B. Marie-Catherine de l'association française A.S.I.E, les actions nationales et locales de l'ONG indienne, en faveur de développement des communautés locales, sont détaillées. Enfin, les concepts clés de PATAMIL sont définis mettant en évidence l'intérêt du terrain d'étude des Jawadhu Hills.

## 1.1 Les Jawadhu Hills, une terre tribale essentiellement rurale et agricole du Sud de l'Inde

Les Jawadhu Hills se constituent d'un ensemble de collines et de moyennes montagnes situées dans le Tamil Nadu, au sud de l'Inde. Ce territoire est majoritairement peuplé par la tribu des *Malayalis*, se distinguant de la population indienne marquée par l'ancien système des castes. L'agriculture, première activité économique, se caractérise par la prédominance de la culture traditionnelle des millets. Les pratiques agricoles y sont largement influencées par les traditions locales mais également par le contexte géoclimatique.

### 1.1.1 L'Inde, entité nationale aux fortes disparités géoclimatiques régionales

L'Inde est un pays d'Asie du Sud, appartenant au sous-continent indien. Par sa superficie de 3,3 milliards de km<sup>2</sup>, il s'agit du septième plus grand pays du monde. L'Inde partage ses frontières avec le Pakistan, la Chine, le Népal, le Bhoutan, le Bangladesh et le Sri Lanka. La péninsule indienne, bordée par la Mer d'Arabie à l'ouest et le Golfe du Bengale à l'est, est dotée de 6 000 km de côtes.

D'après les estimations de l'Organisation des Nations Unies (ONU), la population indienne a dépassé la population chinoise en avril 2023 atteignant 1,434 milliards d'habitants pour un territoire presque trois fois plus petit (GéoConfluence, 2023). L'ensemble de la population est réparti dans les 29 États et les sept Territoires de l'Union (figure 1). L'Inde, ou plutôt l'Union indienne, est une république fédérale, instaurée par la Constitution de 1950 de B. R. Ambedkar après la décolonisation de 1947, dont le siège gouvernemental est New Delhi. Les différents États sont marqués par une importante diversité culturelle, ethnique, linguistique et religieuse.

Le vaste territoire de l'Union indienne se divise en trois unités topographiques : l'Himalaya, les Ghâts occidentaux, les plaines et les plateaux. Il y a 50 millions d'années, le Deccan heurte la plaque asiatique par le nord-ouest et donne ainsi naissance à la chaîne himalayenne, large de 350 km pour 2 300 km de long au nord de l'Inde (Landy et Varrel, 2015). Si le Petit Himalaya a une altitude moyenne située entre 2 000 et 3 000 m, le Grand Himalaya se compose de

montagnes exceptionnellement élevées d'environ 6 000 m d'altitude dominées par le mont Everest de 8 848 m, soit le plus haut sommet du monde (Carrière et Dupuis, 2023). La pointe sud de l'Inde est bordée par les Ghâts occidentaux et orientaux, des chaînes de montagnes plus anciennes que l'Himalaya, qui jouent un rôle climatique important. La majeure partie du pays est recouverte de plaines et de plateaux. Le Gange irrigue la vaste plaine du Nord de l'Inde, dite indo-gangétique. La côte orientale est striée par cinq fleuves prenant source dans les Ghâts occidentaux : la Mahanadi, la Godavari, la Krishna, la Panner et la Kaveri (figure 2). L'activité sismique du territoire indien est à l'origine d'une instabilité du tracé de ses cours d'eau (Landy et Varrel, 2015).

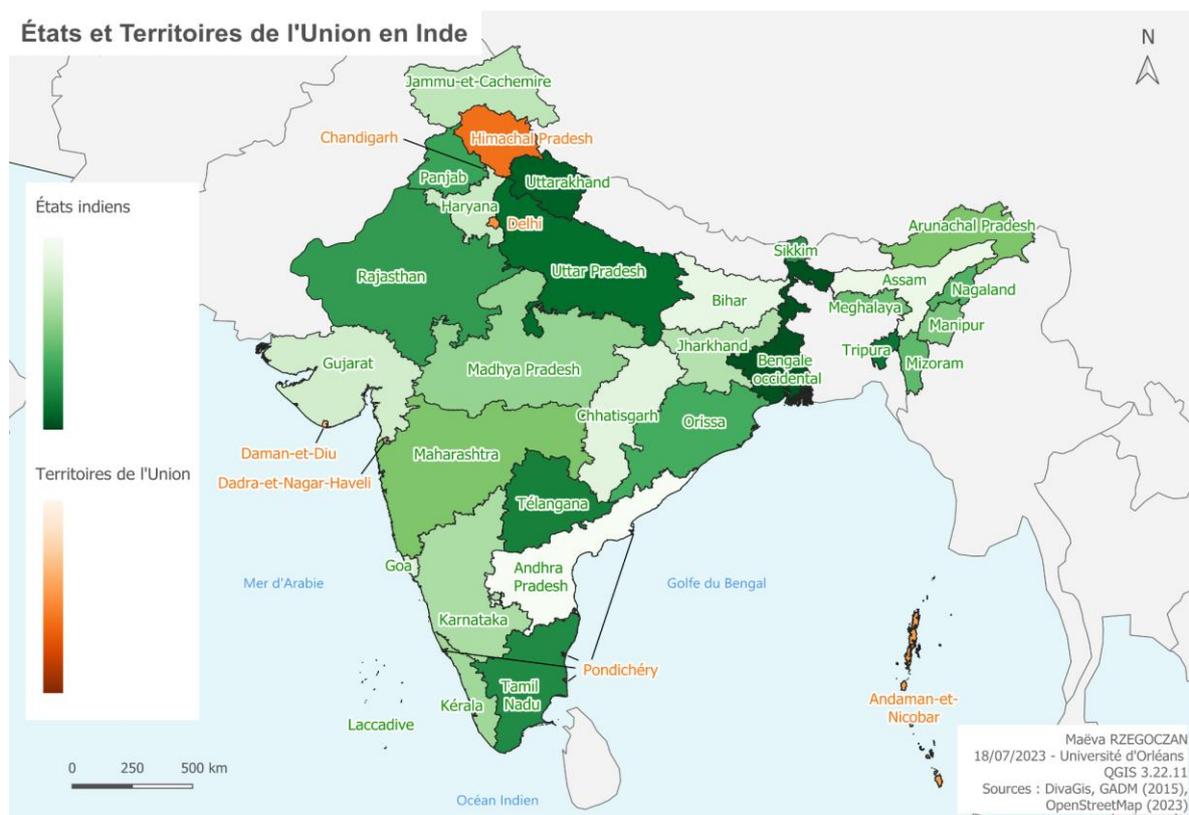


Figure 1 : États et Territoires de l'Union indienne, M. Rzegoczan, 2023

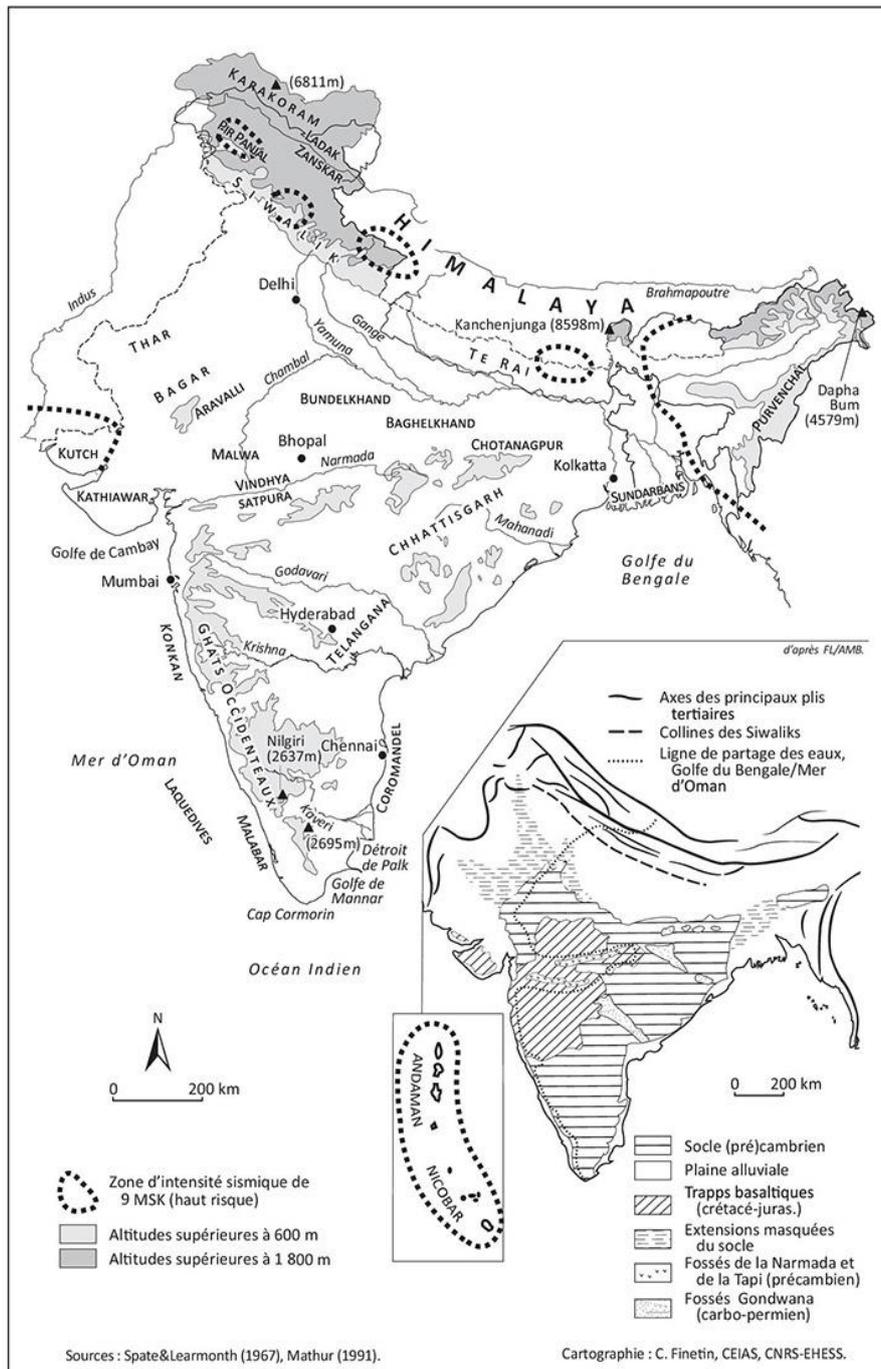


Figure 2 : Relief de l'Inde, source : Landy et Varrel, 2015

L'Inde est soumise aux régimes des moussons. Ce phénomène météorologique tient une place importante dans le quotidien des Indiens car le pays en dépend pour sa ressource en eau et ses activités agricoles. La mousson indienne est due à un renversement des vents lors du basculement de la zone de convergence intertropicale des alizés (ZCIT). La ZCIT est un espace où les alizés de l'hémisphère du Nord et du Sud se rencontrent, elle est souvent caractérisée

par des évènements intenses météorologiques et se situe plus ou moins au niveau de l'équateur voir sur la figure 3 la ligne en rouge. Pendant l'été boréal (de mai à octobre) des alizés du sud-ouest poussent le vent chargé d'humidité de l'Océan Indien en direction du nord-est, la ZCIT qui était alors au sud-est de l'Afrique remonte en direction du nord-est (figure 3). Les alizés de l'hémisphère du sud franchissent l'équateur, jusqu'à leur rencontre avec le continent asiatique plus froid que l'air de la ZCIT, ce contraste thermique avec l'air chaud chargé en humidité provoque de forte précipitation sur le continent, c'est alors la mousson d'été en Inde. À l'inverse, pendant l'hiver boréal (de novembre à avril) les hautes pressions de l'Himalaya poussent les vents du nord-est vers le sud-ouest ce qui correspond à une période de saison sèche en Inde (Merles, 2006). La figure 4 montre que la mousson du nord-est est une particularité des régions du Tamil Nadu, du Karnataka et du Kerala.

Il existe des différences spatiales et temporelles de la mousson en Inde : le territoire ne reçoit pas au même moment et dans les mêmes quantités la mousson. Au Tamil Nadu, la mousson du sud-ouest, qui correspond au premier phénomène de convection des vents vers le nord-est, s'étend de juin à septembre et la mousson du nord-est, qui est la conséquence des vents du nord-est en direction du sud-ouest, s'étale d'octobre à décembre. Le reste de l'année est marqué par une saison sèche avec de faibles précipitations. Durant les mois de janvier et février les températures oscillent entre 15 et 25°C et durant les mois de mars à mai les températures varient entre 30 et 40°C.

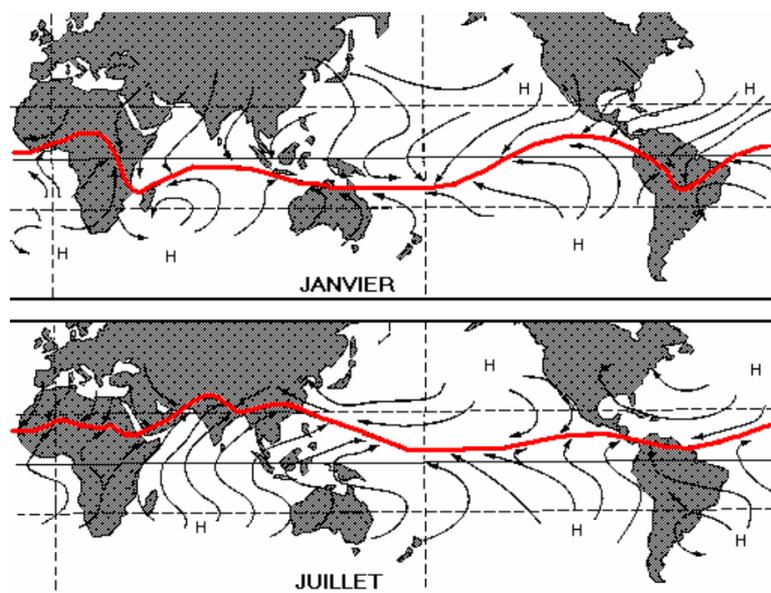


Figure 3 : Déplacement de la ZCIT en fonction des alizés à l'échelle globale, source : IESO France

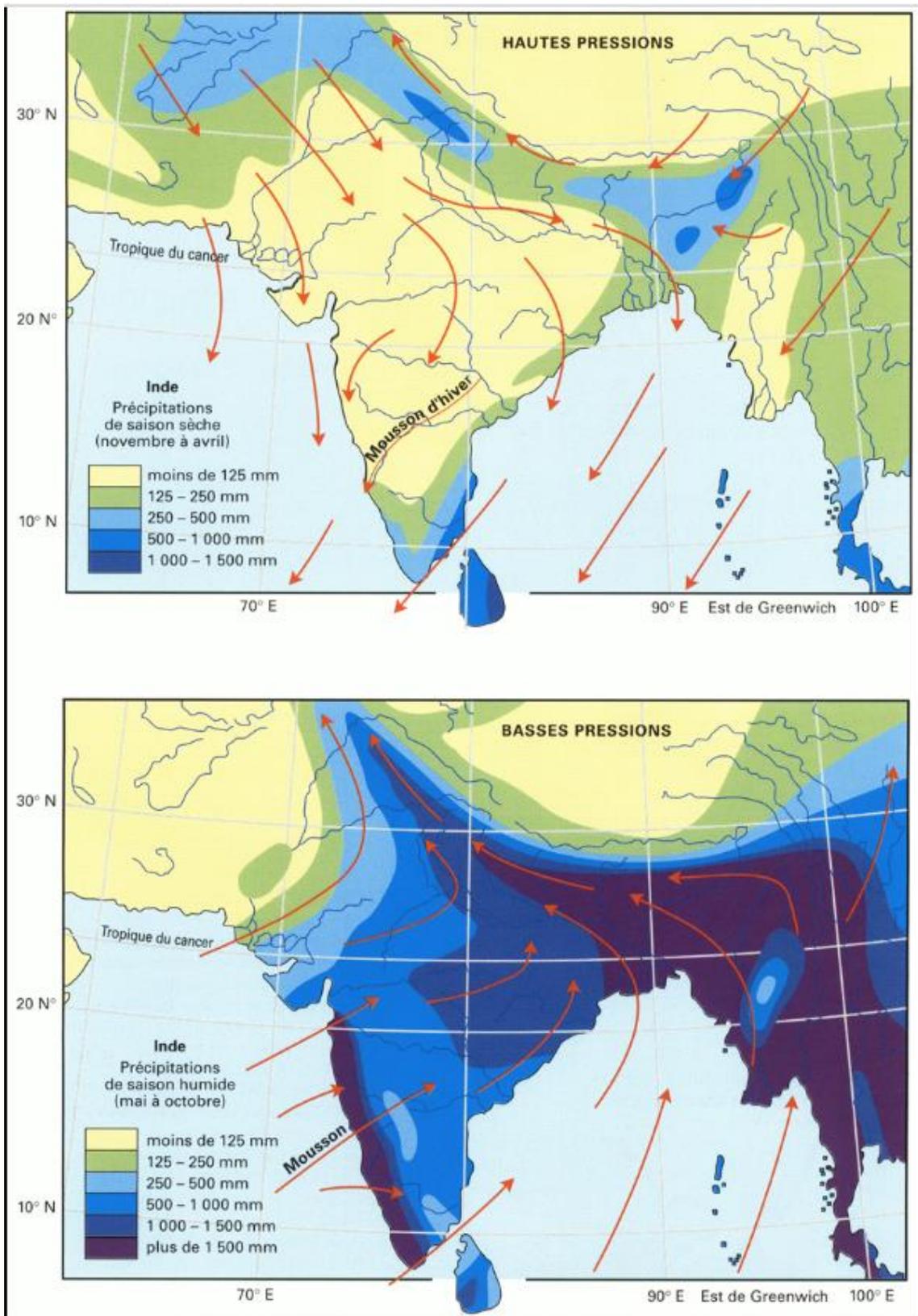


Figure 4 : La mousson indienne, source : Merles, 2006

Les Jawadhu Hills, qualifiés administrativement de “block”, sont situés au nord-ouest du district de Tiruvannāmalai dans l’État du Tamil Nadu, sud-est de l’Inde (figure 5). Le block des Jawadhu Hills est à proximité de pôles urbains majeurs. Chennai, la capitale régionale située à 200 km, résulte d’un mélange de modernité (aéroport international, universités) et de tradition avec une forte identité culturelle : la danse traditionnelle *Bharata Natyam*, le centre cinématographique tamoul *Kollywood* et des temples de la dynastie des *Pallava* et des *Cholas* (Chennai District). Quant à Vellore, il s’agit d’une ville fortifiée qui a joué un rôle important dans les batailles contre les Anglais et les Français au milieu du XVIIIe siècle. Elle est désormais connue pour son université de médecine (Vellore District). Par sa position, elle est connectée aux États de l’Andhra Pradesh, du Karnataka et du Kerala. Tiruvannāmalai, le chef-lieu du district du même nom, est un centre religieux important à l’échelle du Tamil Nadu.

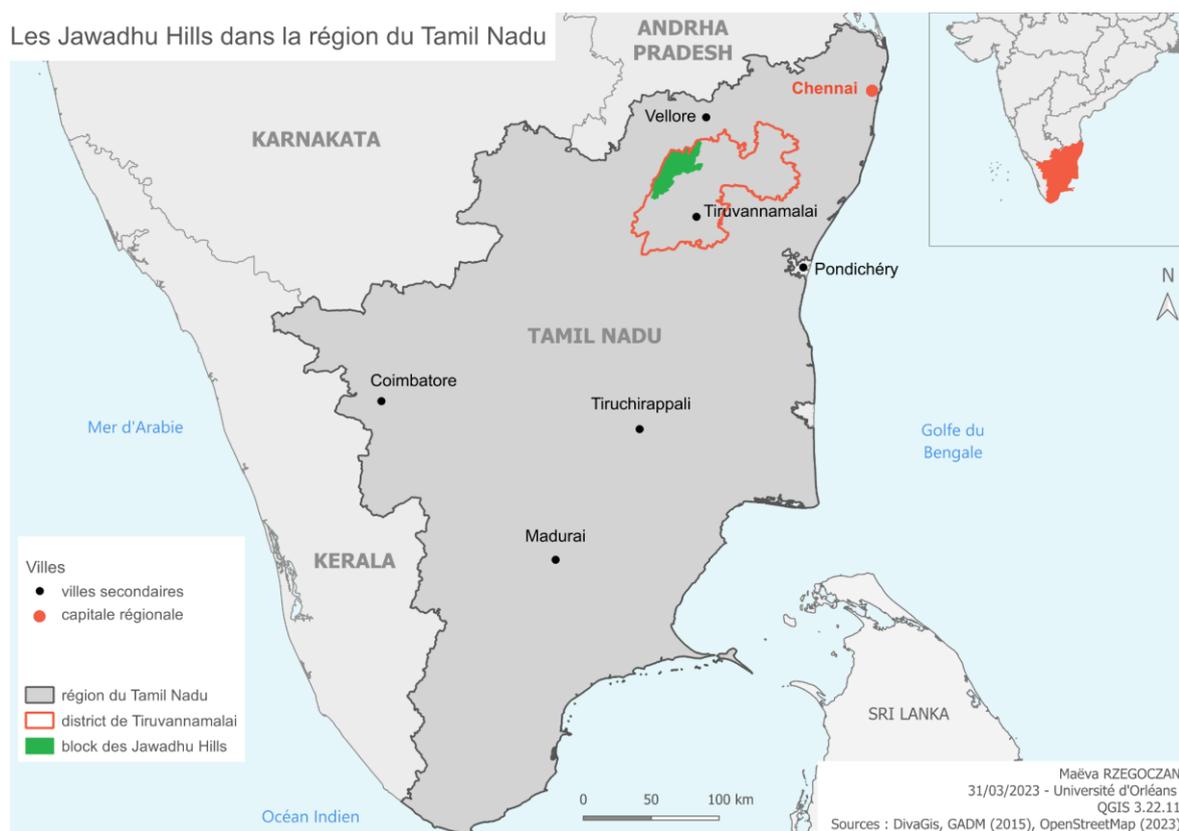


Figure 5 : Localisation des Jawadhu Hills dans le Tamil Nadu. M. Rzegoczan, 2023. Source : DivaGis et GADM, 2015

Les Ghâts, signifiant “col de montagne” en hindi, sont deux importantes chaînes de montagnes indiennes. Les Jawadhu Hills sont une extension des Ghâts orientaux. Cette chaîne de montagnes est caractérisée par un ensemble discontinu de collines et de moyennes montagnes variant de 600 m à 1 680 m (Encyclopaedia Britannica, 2023). Les Ghâts orientaux sont parallèles au Golfe du Bengale, ils commencent dans l’État d’Odisha et s’étendent jusqu’au Tamil Nadu (Figure 6). Les Ghâts orientaux sont composés de collines et montagnes dont l’altitude varie entre 600 m et 1680 m. Ils traversent six États indiens longeant la mer d’Arabie sur 1 600 km (Kerala, Tamil Nadu, Karnataka, Goa, Maharashtra et Gujarat). Les reliefs des Ghâts occidentaux sont plus escarpés que les Ghâts orientaux avec une altitude maximale de 2 637 m à Doda (Encyclopaedia Britannica, 2023). Il s’agit de la première chaîne de montagnes que rencontre la mousson d’été, ce qui explique les précipitations importantes caractéristiques du secteur. Les Ghâts occidentaux sont également connus comme l’un des huit points chauds de biodiversité dans le monde par la diversité faunistique et floristique qu’ils abritent et leur fort taux d’endémisme (UNESCO).

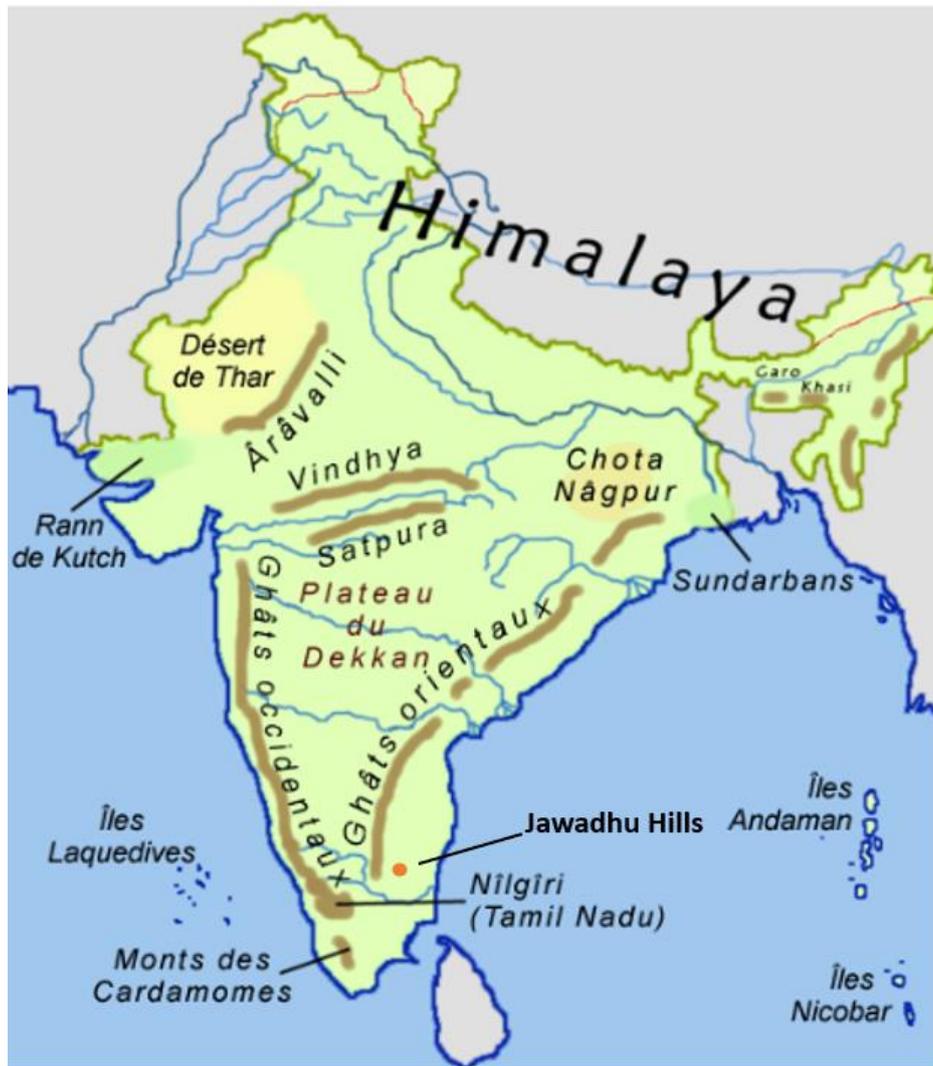


Figure 6 : Massif montagneux en Inde, source : Edelo

L'entité naturelle des Jawadhu Hills s'étend sur une superficie de 260 km<sup>2</sup>, d'une altitude comprise entre 200 et 1 159 m au-dessus du niveau de la mer (figure 7). Cette altitude correspond à l'étage collinéen, voire montagnard pour les sommets les plus hauts. Un vaste plateau où se trouve le *panchayat* de Jamunamarathur se situe au centre des collines, d'une altitude d'environ 700 m propice à l'agriculture (photographie 1). Le plateau central est entouré par un relief morcelé et pentu, favorisant la formation des plaines alluviales parfois très étroites (photographie 2). Cet amoncellement de paysage très contrasté isole certains espaces, propice au développement de microclimats. Le climat des Jawadhu Hills est qualifié de climat tropical à saison alternée.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Davantage de précisions dans N. Atek, 2023, *Anticiper le changement climatique dans les Jawadhu Hills : entre perceptions et stratégies des agriculteurs*, Mémoire de Master 2, Université d'Orléans.

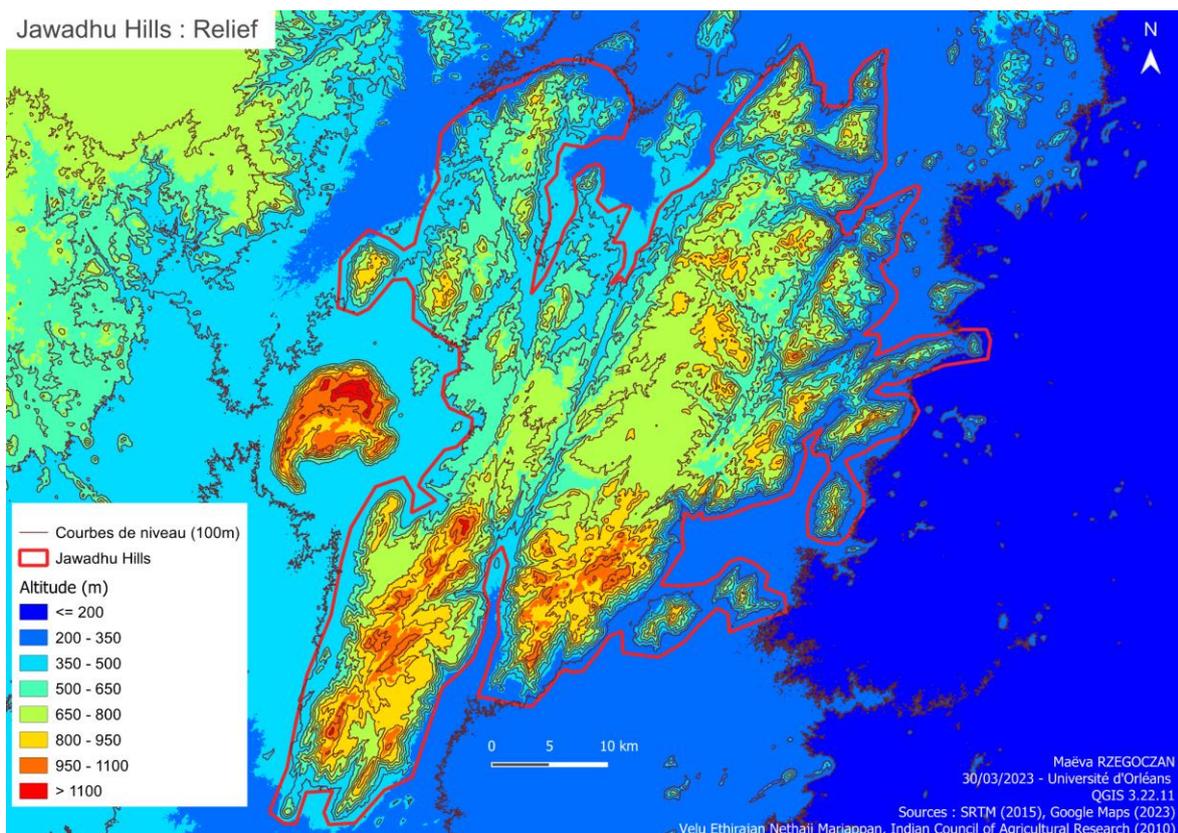


Figure 7 : Carte du relief des Jawadhu Hills, M. Rzegoczan, 2023. Source : SRTM, 2015



Photographie 1 : Plateau des Jawadhu Hills, juin 2023, cliché N. Atek



*Photographie 2 : Vallée (Jawadhu Hills), mars 2023, cliché C. Rigal*

Dans les Jawadhu Hills deux types de sols dominant. D'une part, les sols rouges et sableux se caractérisent par leur légèreté, facilitant le travail agricole traditionnel. S'ils ne sont pas aussi riches en fer que les sols rouges d'Afrique, ils sont riches en calcium et ont une forte capacité de rétention d'eau. D'autre part, les sols noirs, dits *regur*, sont propices à la culture de coton, de riz ou encore de céréales à petits grains. Ils sont d'origine volcanique et sont composés à 50% d'argile. Ils sont riches en calcium et magnésium (Landy et Varrel, 2015). Le sol des Jawadhu Hills est essentiellement composé de gneiss d'après les observations de Sébastien Salvador-Blanes, du laboratoire GÉHCO.

Les Jawadhu Hills sont recouverts à 78% de forêts (figure 8), le bois de santal est caractéristique de la région malgré sa forte diminution depuis les années 1980 pour cause de sa surexploitation (*The Times of India*, 2016). Des espèces indigènes sont également présentes comme le bois de rose, le jacquier (photographie 3), l'acajou, le teck, le banian (photographie 4) et le bambou. En Inde, les géographes H. G. Champion et S. K. Seth sont les pionniers de la classification du couvert forestier. Selon leur classification de 1968, il existe 16 types de forêts

en Inde et neuf types sont recensés dans le Tamil Nadu<sup>3</sup>. Parmi cette classification, les Jawadhu Hills compte trois types de forêts : 48% de forêt sèche de feuillus (photographie 5), 12% de forêt tropicale d'épineux et 7% de forêt sèche tropicale à feuilles persistantes. Ces dernières se situent plutôt sur les plus hauts sommets contrairement aux forêts sèches de feuillus qui se répartissent sur tous les espaces non cultivés de plaines. Quant aux forêts tropicales d'épineux, elles sont majoritairement le long de la frontière administrative des Jawadhu Hills (Nagamani *et alii*).

---

<sup>3</sup> Annexe 1 : Classification des forêts en Inde, p207.

## Jawadhu Hills : un espace à dominante forestière et agricole

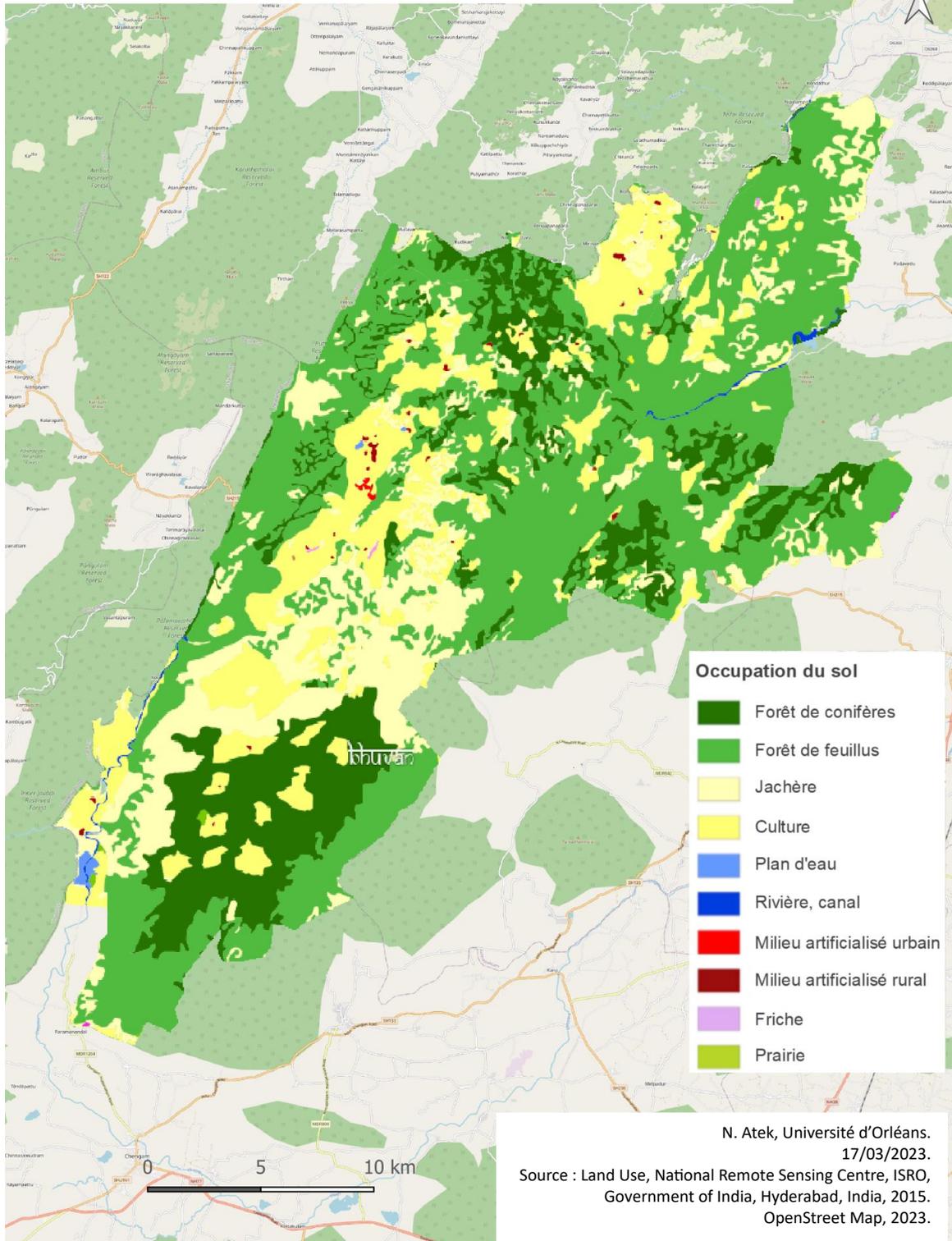


Figure 8 : Carte d'occupation du sol des Jawadhu Hills en 2015, N. Atek et M. Rzegoczan, 2023. Source : National Remote Sensing Centre, ISRO, Government of India, Hyderabad, India, 2015



*Photographie 3 : Jacquier (Pudupattu, Jawadhu Hills), mai 2023, cliché N. Atek*



*Photographie 4 : Banian (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek*



*Photographie 5 : Forêt sèche de feuillus (Jawadhu Hills), mai 2023, cliché N. Atek*

Le reste du territoire est marqué par l'activité agricole (20% de couverture) avec deux types d'agriculture : des terres cultivées de manière permanente (photographie 6) et des terres qui sont une majeure partie de l'année en jachère (photographie 7). Le fleuve le plus proche des Jawadhu Hills est le Palar situé au nord du territoire, il se jette dans le Golfe du Bengale au sud de Chennai. Les deux principales rivières affluentes du Palar qui prennent leur source dans les Jawadhu Hills sont les rivières Cheyyar et Agaram. Le bassin versant de la rivière Cheyyar est spatialement plus important que celui de l'Agaram et concerne le sud et l'est des JH tandis que la rivière Agaram se trouve au nord des Jawadhu Hills (figure 9).



*Photographie 6 : Terrain agricole permanent, (Veerappanur, Jawadhu Hills), mars 2023, cliché N. Atek*



*Photographie 7 : Terrain en jachère une partie de l'année, (Jamunamarathur, Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek*

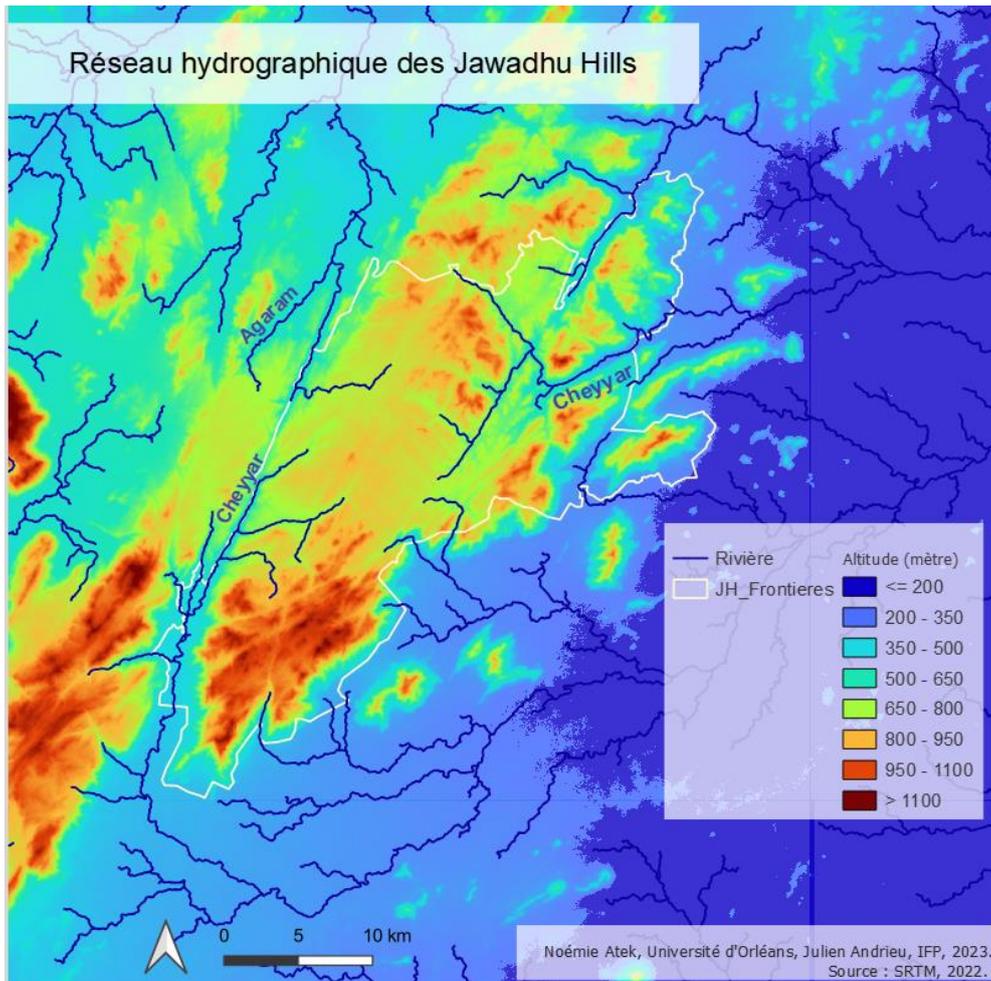


Figure 9 : Carte du réseau hydrographique des Jawadhu Hills. N. Atek et J. Andrieu, 2023. Source : SRTM, 2022

Les forêts des Jawadhu Hills sont peuplées de singes et de paons, animal symbole de l'Inde. Il est d'ailleurs plus fréquent de les entendre que de les voir. Cependant un paon a élu domicile au temple hindou de Kovilur. Ce spécimen a donc pu être observé lors d'une visite de terrain avec la *DHAN Foundation* (photographie 8). Selon la légende, il serait également possible d'y observer un éléphant.



Photographie 8 : Paon du temple hindou de Kovilur (Jawadhu Hills), mars 2023, cliché N. Atek

### 1.1.2 Les *Malayalis*, tribu dominante dans les Jawadhu Hills

En Inde, il existe six échelles de découpage administratif : le hameau, le *revenue village*, le *panchayat*, le *panchayat union*, le *block*, le district et l'État (figure 10). Depuis la Constitution de 1950, la république fédérale de l'Union indienne est dirigée par un Premier Ministre, détenteur du pouvoir exécutif. Le président ne possède qu'un statut honorifique. Il est le représentant de la majorité politique de l'Assemblée *Lok Sabha*, dont les 545 députés sont élus tous les cinq ans au suffrage universel. De même, chacun des 29 États fédéraux est administré par un *Chief Minister*, représentant de la majorité politique de l'Assemblée régionale. La Constitution établit un État central fort afin d'unifier le territoire de l'Union après l'Indépendance de l'Inde en 1947. L'État central est principalement chargé des douanes, des impôts, des réseaux de télécommunications, des transports ferroviaires et aériens ou encore des affaires étrangères. Il a aussi la capacité de mettre en place des mesures d'urgence à l'échelle de l'Union. Les États fédéraux doivent garantir l'ordre public, la fiscalité locale, la santé, l'éducation, l'industrie et l'agriculture notamment (Landy et Varrel, 2015).

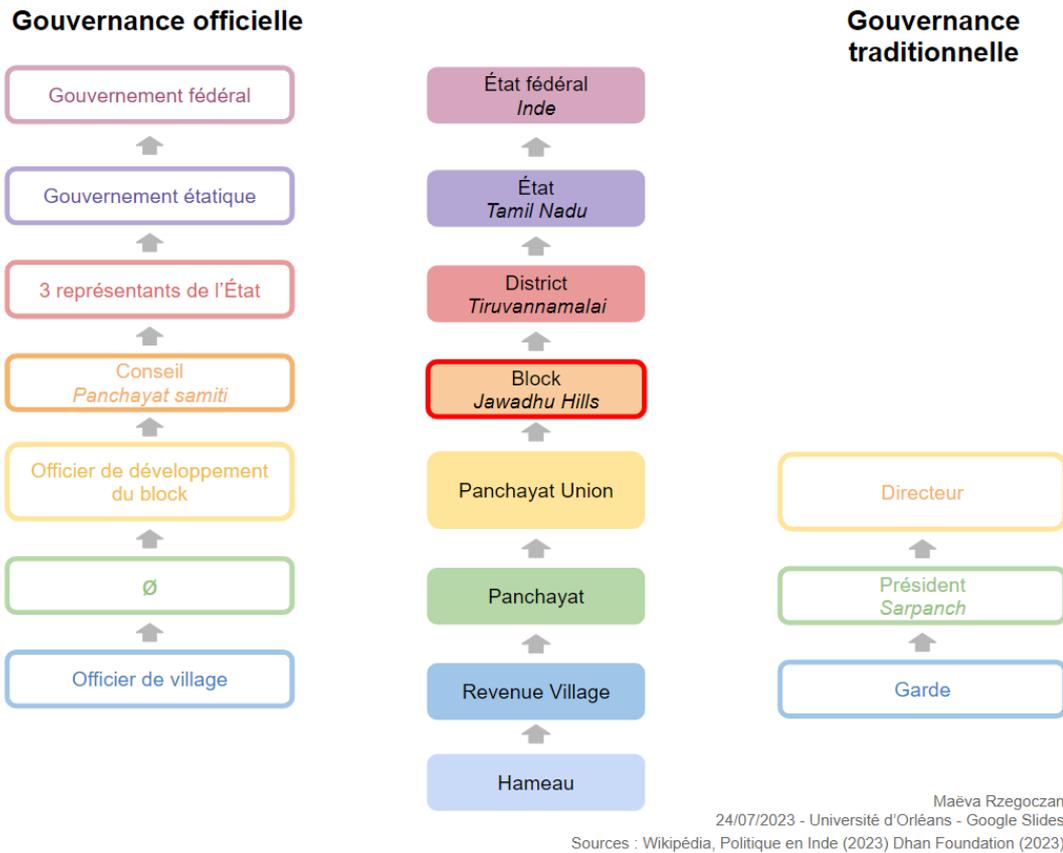


Figure 10 : Gouvernance officielle et gouvernance tribale en Inde selon le découpage administratif à toutes les échelles, M. Rzegoczan, 2023. Source : Wikipédia et DHAN Foundation, 2023

L'échelle administrative des Jawadhu Hills est celle du block, constitué de *panchayats*. Les *panchayats* sont des formes d'administration anciennes qui ont été intégrées à la 73e loi d'amendement constitutionnel de l'Inde en 1992. Comme l'illustre la figure 11, les Jawadhu Hills se constituent de 11 *Panchayats* de villages (*Villagers* ou *Gram Panchayats*) et de huit Réserves de Forêts (*Reserved Forest*). Ils respectent une logique de *local self-government* mise en place seulement dans les zones rurales notamment peuplées de tribus en parallèle de la gouvernance officielle de l'État. Dans les régions rurales on retrouve le même type d'organisation selon le modèle de *Pachayati Raj* (Toppr) (figure 12).

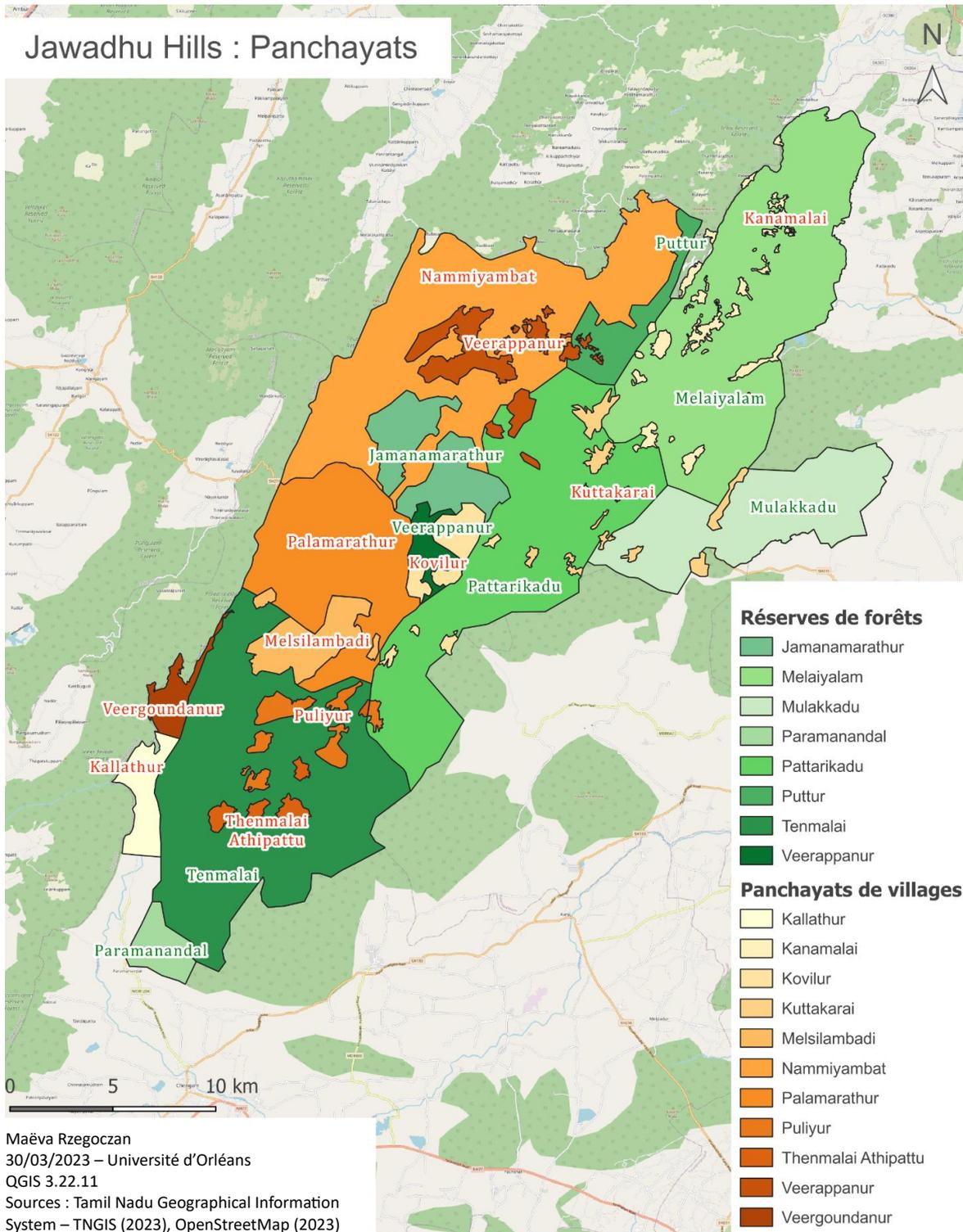


Figure 11 : Carte des panchayats des Jawadhu Hills, M. Rzegoczan, 2023, source : TNGIS, 2023

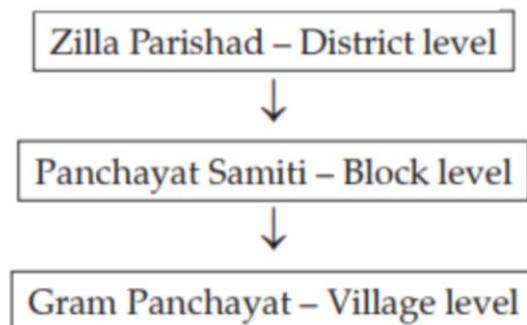


Figure 12 : Organisation du système de Panchayati Raj en Inde, source : Sahida, 2018

Le *Gram Panchayat* est le premier niveau de gouvernance, il est élu au suffrage universel direct par le *Gram Sabha*. Ce dernier est composé de l'ensemble des personnes ayant plus de 18 ans par village, une assemblée permanente contrairement aux membres du *Gram Panchayat* qui sont élus pour cinq ans par le *Gram Sabha*. Parmi les élus, le *sarpanch* est désigné comme représentant du village ou "chef". Le *Gram Panchayat* a des fonctions obligatoires comme les questions de santé, de récolte de taxe et l'assainissement des eaux et éventuellement d'autres compétences facultatives. Le *Gram Sabha* prend aussi des décisions dans certains cas relatives à la vie du village. Concernant les *Panchayats Samiti* et les *Zilla Parishad*, des organisations territoriales à l'échelon supérieur, leurs représentants sont élus directement par l'État (BYJU'S).

Cette administration à plusieurs échelles dirige une population indienne inégalement répartie dans les 29 États et les sept Territoires de l'Union (figure 13). La plaine indo-gangétique est la région la plus peuplée du pays avec des densités de population au-delà de 1500 hab/km<sup>2</sup> par endroits, alors que la moyenne nationale est de 382 hab/km<sup>2</sup> (*Census of India, 2011*). Les littoraux sont aussi plus peuplés que les régions de montagnes au centre et au nord du pays.

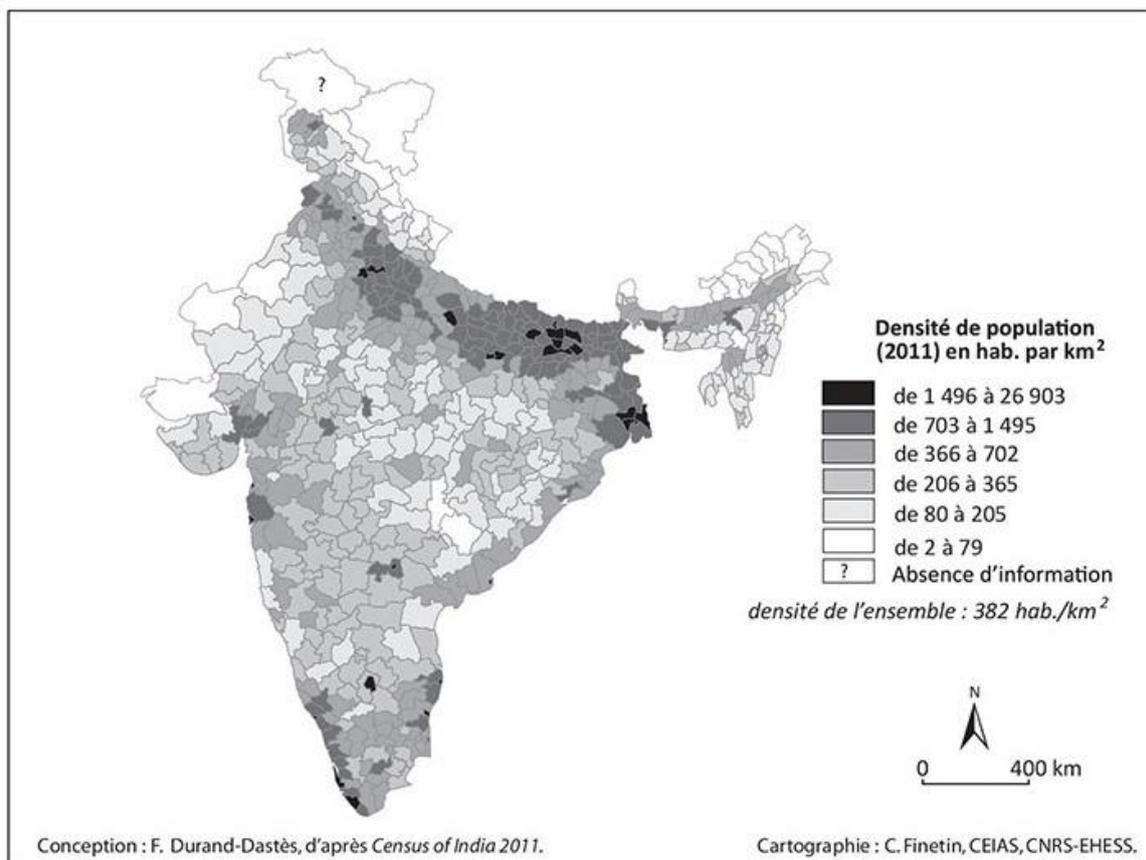


Figure 13 : Densité de population en Inde, source : Landy et Varrel, 2015

La population du Tamil Nadu s'élève à 76 536 millions d'habitants en 2022 (Ministère de la statistique et de la mise en œuvre des programmes, 2022), soit une densité de population de 588 hab/km<sup>2</sup>, assez forte par rapport à l'ensemble du pays. Cependant, si le Tamil Nadu est un État densément peuplé, urbanisé et industrialisé, certaines zones rurales restent à l'écart de ces dynamiques, tels que les Jawadhu Hills.

Dans les Jawadhu Hills la population a doublé entre 1991 et 2011 passant de 25 188 à 51 999 habitants. La densité de population est de 345 hab/km<sup>2</sup> (Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2017), une valeur assez élevée par rapport à la densité moyenne des territoires ruraux en Inde de 280 hab/km<sup>2</sup> (Durand-Dastès, 2015). Néanmoins, ce chiffre est à relativiser car les observations de terrain ne convergent pas en ce sens. Les impressions globales tendent vers le constat d'une répartition émiettée de la population dans les Jawadhu Hills avec pour seul point de plus forte concentration démographique le panchayat de Jamunamarathur (photographie 9). De fait, la carte de l'occupation du sol de 2015 montre bien la concentration d'espace urbanisé dans ce *panchayat*.



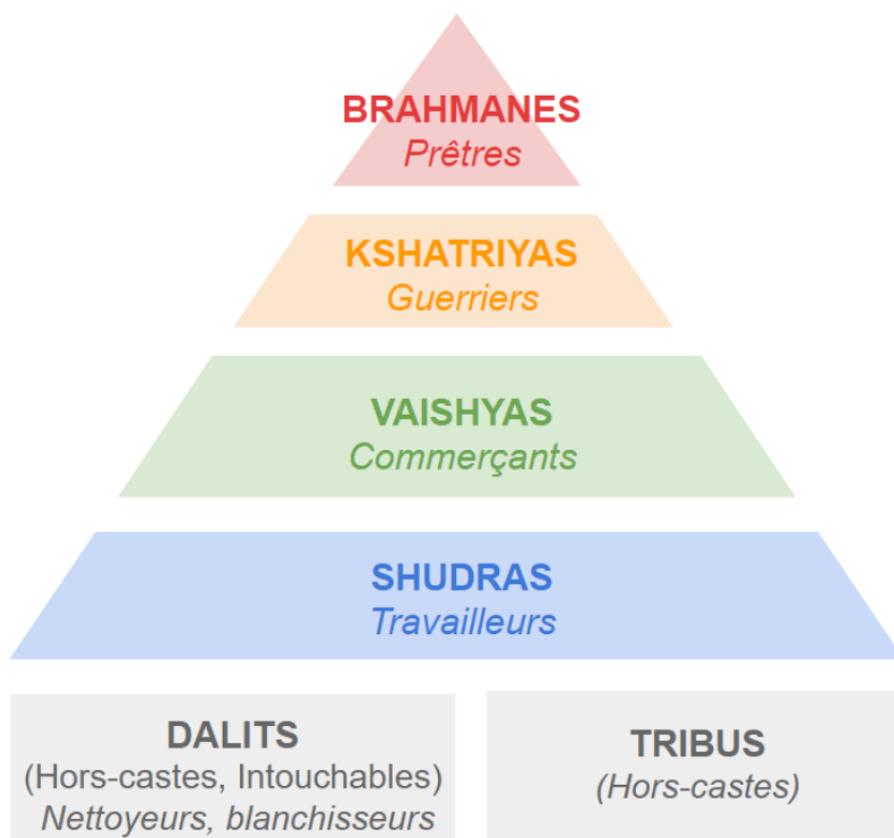
Photographie 9 : Perspective sur Jamunamarathur (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek

	Répartition des villages selon la population en 2001						
	Moins de 200	200-499	500-999	1000 - 1999	2000 - 9999	10 000 et plus	Total
<b>Nombre de villages</b>	3	15	8	7	4	1	38
<b>Population totale</b>	364	4 898	6 372	9 083	12 219	10 384	43 320

Tableau 1 : Répartition des villages par tranche de population, source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17

Dans ce territoire rural, la population se concentre dans de petits villages. Les exploitations agricoles isolées sont plutôt rares. Parmi les 38 villages, 26 sont peuplés de moins de 1000 habitants, 11 villages se distinguent avec une population comprise entre 1000 et 10 000 habitants (tableau 1). Seule Jamunamarathur est considérée comme une ville, atteignant plus de 10 000 habitants (*Census of India*, 2011).

La population et l'organisation sociale des Jawadhu Hills se différencie de celle du Tamil Nadu, et plus largement de l'Inde. La société indienne se divise en trois groupes ethniques : les Indo-Aryens qui sont majoritaires, suivis des Dravidiens et des Asiatiques. Le découpage de 1956 des États indiens correspond à des unités linguistiques. Si les langues officielles de l'Union sont l'anglais et l'hindi, elles s'accompagnent de 40 langues parlées par plus d'un million de locuteurs. Outre les divergences ethniques et linguistiques, la population indienne est divisée en castes. Il s'agit d'un ordre hiérarchique socio-religieux. Le système brahmanique reconnaît quatre "varna", ou "couleurs" : les Brahmanes, les Kshatriyas, les Vaishyas, les Shudras (figure 14). Les Dalits sont classés hors-caste ou Intouchables, ils représentent 1/5e de la population (Tabarly, 2007). Chaque caste se caractérise par un domaine professionnel précis.



### *Les castes en Inde : le système des quatre "varna"*

Maëva Rzegoczan  
20/07/2023 - Université d'Orléans  
Google Slides  
Source : Sylviane Tabarly, *Géococonfluences*, 2007

Figure 14 : Les castes en Inde : le système des quatre "varna", M. Rzegoczan, 2023. Source : Tabarly, 2007

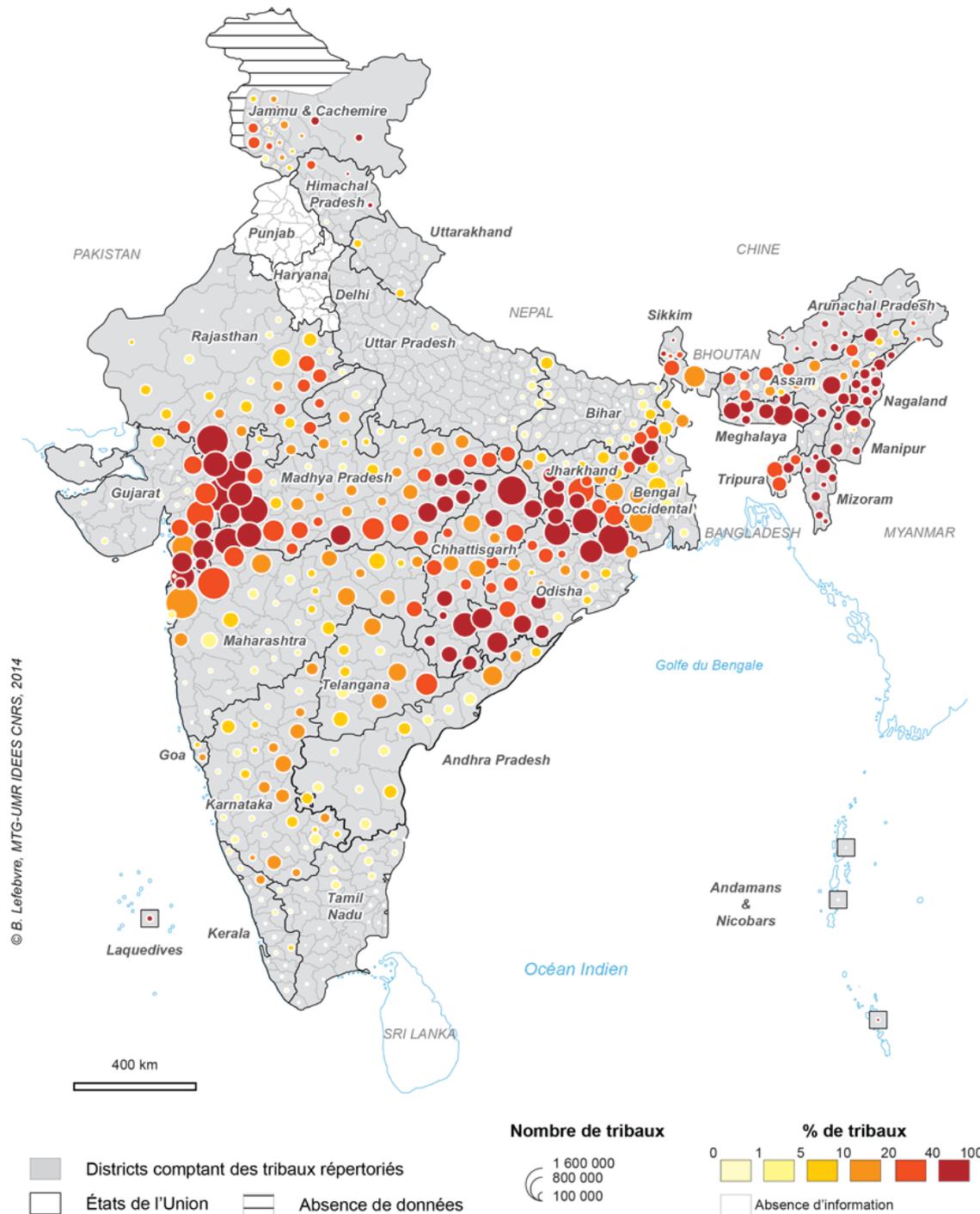
Toutefois, le système de “*varna*” est la version simplifiée du système complexe des castes en Inde. Ces castes se complètent de 4 000 voire 5 000 *jâtis*, des communautés portant le nom des professions qu’elles exercent : les *Mallahs* (pêcheurs et bateliers), les *Gujjars* (laitiers) ou encore les *Ahirs* (bouviers). Certains *jâtis* sont nommés selon leur territoire ou leur origine tribale. Les *jâtis* sont présents sur l’ensemble du territoire indien et à toutes les échelles. Ils s’insèrent dans les dix communautés religieuses officielles du pays : Hindous, Musulmans, Chrétiens, Sikhs, Bouddhistes, Jaïnistes, Ayyavazhi, Juifs, Zoroastriens et Bahais (Tabarly, 2007).

Le système de castes est complété par celui des tribus. Les populations tribales, aussi appelées *Adivasi*, ou “autochtones”, constituent des minorités dont il est parfois difficile de définir les caractéristiques. Certaines s’identifient selon une appartenance à un territoire, d’autres selon leur culture ou encore leur situation socio-économique. Les tribus ne sont pas uniformes mais représentent des réalités aussi inégales que diverses. Depuis la Constitution indienne de 1950, les Dalits sont compris dans les *Scheduled Castes* (SC) et certaines tribus sont répertoriées en tant que *Scheduled Tribes* (ST). Le Gouvernement indien a mis en place plusieurs politiques et programmes en faveur du bien-être et du développement des tribus, notamment pour que celles-ci gardent leurs droits sur leurs terres et ses ressources mais aussi pour préserver leur identité tribale. Dans le même objectif d’inclusion des populations marginales, les ex-Intouchables ont accès à des postes leur sont réservés dans l’administration et l’éducation, ainsi que dans les assemblées électorales (Lefebvre, 2015). Malgré les efforts pour diminuer l’influence des castes en économie et en politique, les individus se reconnaissent encore largement selon leur appartenance à une caste. Les mariages inter-castes sont rares. Les mutations sociales sont plus rapides dans les villes où des individus de différentes castes sont amenés à travailler ensemble au sein des mêmes entreprises.

D’après le recensement officiel indien de 2011, les populations tribales représentent 8,60% de la population totale du pays soit 104 millions d’individus (une augmentation de 2,4% depuis 1931). Les populations tribales sont réparties inégalement à l’échelle du territoire national indien (figure 15). Une forte concentration de tribus se distingue d’est en ouest au centre de l’Inde, soit les régions les moins peuplées du pays : il s’agit de la Ceinture Tribale. Il y aurait 39 communautés tribales au Tamil Nadu qui représentent 790 000 individus, soit 1% de la

population de l'État. Les *Malayalis* y constituent la plus grande tribu à hauteur de 47,6% (*Census of India, 2011*).

### Les populations tribales en Inde (2011)



Source : *Census of India, 2011*  
Fait avec Philcarto - <http://philcarto.free.fr>

Figure 15 : Les populations tribales en Inde, source : Lefebvre, 2014

La population des Jawadhu Hills se compose à 97% (Census of India, 2011) de *Scheduled Tribes*, soit des *Malayalis*, ainsi que de 2% de *Scheduled Castes*. Seul 1% de la population n'entre pas dans les classifications officielles.

Les *Malayalis* s'appellent eux-mêmes les "*Malai-VazhMakkal*" qui signifie "peuple des collines" (Sumathi et Manjubarkavi, 2015). Ils ne sont pas originaires des Jawadhu Hills, mais ont migré depuis le Kanchipuram au XVI<sup>e</sup> siècle. D'après les recherches archéologiques, les Jawadhu Hills sont peuplées depuis la fin de l'Âge de Pierre par les chasseurs, un groupe primitif des chasseurs-cueilleurs. Ils ne se considèrent pas comme une tribu mais plutôt comme un peuple, parlant tamoul, qui a migré des plaines vers les collines (Thruston, 1909). Ils seraient originaires de la caste des *Vellala*, majoritairement agriculteurs, mais leur éloignement par rapport à la société indienne justifie leur classification parmi les *Scheduled Tribes*.

Les *Malayalis* n'ont pas de système hiérarchique interne mais des classes selon la condition socio-économique et leur territoire d'origine. Néanmoins, les *Malayalis* des Jawadhu Hills se considèrent supérieurs à ceux des Elagiri et Pudurnadu Hills. Ils adoptent le modèle de la famille nucléaire et pratiquent la monogamie. Les mariages en-dehors de la communauté sont strictement interdits sous peine d'être bannis. Les *Malayalis* ont leurs propres traditions se manifestant par des rites tout au long de leur vie : la cérémonie de la naissance, la cérémonie du prénom, la cérémonie du perçage des oreilles, la cérémonie de la tonte des cheveux, le rite de la puberté et la cérémonie de la mort. Ils ont aussi un système de croyance spécifique, il existe plusieurs systèmes associés aux divinités des familles et des villages. En tant qu'agriculteurs, ils ont des croyances culturelles associées à la culture de certaines graines comme le *paddy* ou les millets. *Karu Nelu* est cultivé en particulier pour l'offrir à la déesse Kongayi Amman. De même, *Thinai flour (Foftail Millet)* est offert aux déesses locales (Sumathi et Manjubarkavi, 2015).

L'activité principale des *Malayalis* est l'agriculture et ses activités complémentaires. Lorsque l'exploitation agricole ne constitue pas une source de revenus suffisante, quelques membres de la famille migrent dans les États voisins pour travailler dans les cultures de thé et de café,

du mois de janvier au mois de mai, voire jusqu'au milieu du mois de juin. De fait, 70% des hommes et des femmes des Jawadhu Hills migrent chaque année vers le Karnataka (60%), le Kerala (10%), Chennai (10%), Tiruppur (10%) ou l'Andhra Pradesh (10%). Ils y sont employés en tant que travailleurs journaliers pour un salaire de 500 roupies par jour pour les hommes et de 400 roupies par jour pour les femmes en moyenne (*DHAN Foundation*). Ce salaire constitue une source de revenus importante par rapport aux bénéfices tirés de l'agriculture. La *DHAN Foundation* estime que les agriculteurs des Jawadhu Hills obtiennent des revenus situés entre 18 000 et 27 000 roupies par hectare et par saison, ce qui correspond entre un et deux mois de travail en migration. En outre, d'après les statistiques du gouvernement du Tamil Nadu parus en 2017, la majorité des agriculteurs des Jawadhu Hills possèdent des exploitations de moins de moins d'un hectare (figure 17). Les individus qui ne migrent pas sont principalement des employés, des propriétaires, des commerçants ou encore des agriculteurs qui ont des terres irriguées et qui cultivent diverses variétés de céréales et de légumes tout au long de l'année.

Dans les Jawadhu Hills, les *panchayats* de villages s'accompagnent de réserves de forêts (*reserved forest*). Ces dernières sont co-gérées par les autorités officielles et les tribus depuis la mise en place de la Gestion Conjointe des Forêts (*Joint Forest Management - JFM*) prévue par la Politique Nationale des Forêts (National Forest Policy) de 1988 par le gouvernement indien (Ministry of Environment, Forest and Climate Change of India, 2010). L'objectif de cette politique est de protéger la forêt, sa biodiversité et ses ressources naturelles, de favoriser son extension mais aussi la mise en valeur de ses ressources par les populations locales. Dans les Jawadhu Hills, le *Village Forest Council* est une stratégie pour encadrer la récolte des *Non-Timber Forest Products* (NFTPs), c'est-à-dire des produits forestiers non ligneux tels que les fruits, le miel ou les plantes médicinales. Ainsi, des zones d'extraction ont été définies en concertation par les deux parties : elles correspondent à des territoires habités par les tribaux et sur lesquels ils disposent de droits à long terme, bien que ces terres restent la propriété de l'État. Les principaux produits issus de la forêt et vendus au marché de Jammunamarathur sont : le bois de santal, le bambou, l'écorce de tan, le noyer ou encore le tamarin (Sathishkumar et Natarajan, 2017).

Les croyances des *Malayalis* ont longtemps permis de protéger la forêt en évitant la colère des dieux. Les modes de vie des tribus qui reposent sur la chasse et la cueillette et donc dépendent

des ressources de la forêt, ne sont pas une menace pour les écosystèmes. Néanmoins, l'évolution des dynamiques commerciales du bois impactent l'environnement et la biodiversité des écosystèmes forestiers à cause de la surexploitation, en partie illégale. Les ressources forestières ne se régénèrent pas assez rapidement ce qui entraîne une réduction de la surface exploitable. Les activités de chasse et de piégeage sont aussi responsables d'une baisse importante de la faune dans les Jawadhu Hills. De plus, la modernisation des modes de vie rend les tribaux moins dépendants de la forêt. Par exemple, la médecine moderne vient remplacer la médecine traditionnelle Ayurvédique ou Sidha à base de plantes (Deepa et Rahamedsha, 2023).

La période annuelle de migration engendre des conséquences sur la scolarisation des enfants. Lorsque les femmes migrent, il revient aux aînés d'effectuer les tâches quotidiennes et de garantir la sécurité alimentaire de la famille. Si le soutien de la famille élargie est insuffisant, ce sont les enfants qui s'occupent de leurs frères et sœurs, les empêchant d'aller à l'école.

Dans les Jawadhu Hills, 11 901 enfants sont scolarisés dans une centaine d'établissements scolaires tous degrés confondus. Malgré un taux de scolarisation important en primaire, les enfants ne poursuivent pas ou abandonnent les études au collège et au lycée (tableau 2). Le nombre de professeurs reste très bas par rapport au nombre d'enfants scolarisés, en moyenne un professeur d'école primaire à la charge de 80 enfants (tableau 3). Plus généralement 40% de la population est alphabétisée, c'est un chiffre nettement inférieur par rapport au district de Tiruvannāmalai et à l'État du Tamil Nadu dont le taux d'alphabétisation est respectivement estimé entre 70-75% et 80% (Wikipédia, 2011).

Ces différences peuvent s'expliquer par les inégalités d'accès à l'éducation qu'il y a en fonction du sexe, du lieu de résidence et du groupe social et religieux. Alors que 69% de la population indienne est rurale avec 62% d'alphabétisation, la minorité urbaine atteint les 76% d'alphabétisation, c'est écart est en partie expliqué par les difficultés d'accès aux infrastructures rencontrés par les populations rurales. De plus, l'agriculture étant la première activité économique des territoires ruraux, l'abandon scolaire des enfants après la primaire pour aider leurs parents aux champs est fréquent. Le manque de politiques de développement dédié aux populations tribales alimente ces inégalités d'accès à l'éducation (Rajith Kumar, 2021). Par ailleurs, à l'image des tendances nationales, les femmes sont nettement moins alphabétisées que les hommes (tableau 4).

		Nombre d'enfants scolarisés en 2016-17		
Type d'institution	Nb d'institution	Total	Garçon	Fille
<b>Maternelle</b>	3	440	265	175
<b>Primaire</b>	68	5 827	3117	2710
<b>Collège</b>	24	1 324	680	664
<b>Lycée</b>	3	580	337	243
<b>Etude supérieure</b>	3	3 730	2419	1311
<b>Total</b>	101	11901	6818	5103

Tableau 2 : Scolarisation des enfants dans les Jawadhu Hills. N. Atek, 2023, source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17

		Nombre d'élève	Nombre de professeurs en 2016-17	
Type d'institution	Nb d'institution	Total	Formé	Non-formé
<b>Maternelle</b>	3	440	13	4
<b>Ecole primaire</b>	68	5827	72	-
<b>Collège</b>	24	1324	76	-
<b>Lycée</b>	3	580	14	-
<b>Etude supérieure</b>	3	3730	68	-
<b>Total</b>	101	11901	243	4

Tableau 3 : Nombre de professeurs par type d'établissement dans les Jawadhu Hills, N. Atek, 2023, source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17

	Homme	Femme	Total
<b>Population</b>	26 483	25 516	51 999
<b>Alphabétisation (Nombre d'individus)</b>	12 928	7 875	20 803
<b>Alphabétisation (pourcentage)</b>	48,8%	30,8%	40%

Tableau 4 : Alphabétisation dans les Jawadhu Hills, M. Rzegoczan, 2023, source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2017

Pour se soigner les *Malayalis* ont recours aux plantes pour des symptômes tels que des problèmes de peau, la toux, la fièvre ou encore le mal de tête. Cependant, la médecine traditionnelle est désormais surpassée par la médecine conventionnelle. Les Jawadhu Hills sont équipés d'un hôpital gouvernemental et d'un hôpital gouvernemental et d'une clinique privée gérée par la *DHAN Foundation* qui embauche un docteur, trois infirmières et un pharmacien, à Jamunamarathur. Cette clinique dispense les premiers soins mais surtout effectue de la sensibilisation auprès des populations qui ne font pas toujours confiance aux établissements gouvernementaux de santé. Le gouvernement du Tamil Nadu a recensé en 2016-17, sept docteurs et sept infirmiers dans l'ensemble des Jawadhu Hills.

Concernant les autres services, une caserne de pompiers et un poste de police sont présents dans les Jawadhu Hills ainsi qu'une banque et une station essence. Les espaces de divertissement et de culture sont presque inexistantes sur le territoire à l'exception de 11 librairies. Les deux bourgs commerciaux principaux sont Jamunamarathur et Nammiyampattu, où l'essentiel des commerces est concentré. 1 436 entreprises commerciales sont répertoriées sur le territoire ainsi que 38 entreprises d'artisanats. Au sujet de la question du logement, le Gouvernement du Tamil Nadu a mis en place un programme d'aide au développement rural nommé IAY - Group House soit *Indian Awaas Yojana* qui vise à subventionner la construction de maison pour les personnes vivant en deçà du seuil de pauvreté (India Filings). Durant l'année 2016-17, 241 travaux ont été entrepris par l'Agence Départementale du Développement Rural (Tiruvannāmalai District). Le transport est garanti par des lignes de bus qui relient Jamunamarathur aux principales villes du Tamil Nadu telles que Vellore ou Tiruvannāmalai à proximité. Cependant, le nombre de routes bétonnées est difficilement

quantifiable. Les routes ne sont pas toujours dans un état convenable pour un usage sécurisé. En outre, certains villages isolés ou situés en altitude ne sont desservis que par des chemins non bétonnés et impropres à la circulation motorisée, notamment lors des fortes pluies. Néanmoins, les habitants des Jawadhu Hills profitent d'un service de bus relié aux principaux pôles urbains, des taxis et des rickshaws, un moyen de transport usuel en Inde pour les courts trajets du quotidien. Pour ce qui est des habitats, trois types de logement ont été observés : les maisons traditionnelles en terre, chaume et tuile (photographie 10) ; les maisons collectives voire petits immeubles sur deux étages en béton (photographie 11) ; les maisons individuelles avec ou sans étage en dur (photographie 10). Dans le *panchayat* de Jamunamarathur se trouvent seulement les deux derniers types de logement. D'ailleurs, l'esthétisme des maisons est assez diversifié, certaines sont très modernes avec des couleurs épurées, d'autres étaient hautes en couleurs. Les immeubles ou maisons dans les rues passantes des villages étaient souvent divisés en deux parties, le rez-de-chaussée réservé au commerce et l'étage comme lieu de résidence (photographie 11).



*Photographie 10 : À gauche l'intérieur d'une maison traditionnelle, à droite l'exemple d'une maison moderne (Jawadhu Hills), mai 2023, cliché N. Atek*



Photographie 11 : Immeuble commerçant de la rue principale de Jamunamarathur (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek

Les habitudes culinaires de la population locale sont à l'image du reste de l'Inde : la prise de repas se fait très régulièrement à l'extérieur du domicile. Le centre de Jamunamarathur concentre plusieurs restaurants et stands de *street food*. Les repas proposés dans la rue sont très souvent les mêmes : le midi un *white meal* ou des *parathas accompagnés de sambar* (photographie 12), le soir des *chappattis*, des *idly* ou encore des *dosa* accompagnés de chutney à la coco ou de sambar. Des stands éphémères et itinérants offrent des assortiments de boulettes frites à base de légumes, d'œufs ou de lentilles (photographies 13 et 14). Un paquet de quatre pièces de boulettes coûte 10 roupies.



Photographie 12 : À gauche *white meal*, riz accompagné de plusieurs sauces. À droite *idly* en blanc avec *chappattis* et sa sauce *sambar* dessus (Jawadhu Hills), mars 2023, cliché N. Atek



Photographie 13 : À gauche Uluthu vadai et à droite Dhal valai (Jawadhu Hill), juin 2023, cliché N. Atek



Photographie 14 : À gauche boulette de mil sucré, à droite Bonda (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek

Les Jawadhu Hills sont donc peuplées par les *Malayalis* se distinguant de la société indienne par leur statut tribal, différent du système de castes marquant le reste du territoire indien malgré son abolition. Cette tribu pratique ses propres traditions sur la base de croyances locales. Ce territoire rural est également gouverné par une administration auto-gérée se superposant à la gouvernance officielle de l'État. En outre, en tant que *Scheduled Tribe*, les *Malayalis* bénéficient de droits spécifiques accordés par le gouvernement. Cependant, la culture des *Malayalis* se mêle à la culture tamoul et indienne par la langue, la religion ou les traditions culinaires. Les pratiques, notamment médicales, évoluent et se modernisent. Le

territoire des Jawadhu Hills se distingue par ses caractéristiques sociales sans être totalement imperméables aux dynamiques externes.

### 1.1.3 L'agriculture, activité économique traditionnelle

La question de la sécurité alimentaire est une préoccupation majeure liée à l'histoire de l'Inde. Le pays a connu une vingtaine de famines meurtrières entre les années 1850 et 1900, causant plus de 20 millions de morts. La plus récente famine étant celle de 1943 touchant exclusivement l'État du Bengale et causant la mort de 4 millions d'indiens (Landy et Varrel, 2015). La famine est une crise brutale, comportant une raréfaction des produits alimentaires disponibles pour une part importante de la population, qui entraîne une aggravation nette des conditions de vie déjà difficiles, et une augmentation de la mortalité (Durand-Dastès, 1983). La sécurité alimentaire est aujourd'hui d'autant plus importante par la croissance démographique fulgurante que connaît le pays, passant de 300 millions d'habitants en 1947 à 1,4 milliard d'habitants en 2023. Cette même année, 16,3% de la population indienne souffrent de sous-nutrition (GHI, 2022). La sécurité alimentaire se définit comme la "capacité des êtres humains, à tout moment, d'accéder physiquement et économiquement à une nourriture suffisante, saine et nutritive répondant à leurs besoins nutritionnels et à leurs préférences alimentaires pour une vie active et équilibrée" (FAO, 2006). Alors, quelles ont été les stratégies agricoles de l'Inde pour relever les défis de la sécurité alimentaire ?

L'Inde commence sa Révolution verte à partir de 1965 et la poursuit jusqu'en 1985. Son objectif est alors d'augmenter les rendements agricoles par hectare en modernisant les systèmes de culture pour assurer l'autosuffisance alimentaire<sup>4</sup> du pays. La Révolution verte indienne s'organise autour de trois piliers :

- La diffusion de Variétés à Hauts Rendements (VHR) : fort rendement pour une courte durée de maturation dont le blé et le riz

---

<sup>4</sup> "L'autosuffisance alimentaire désigne la satisfaction de tous les besoins alimentaires par la production nationale" (FAO, 2002).

- Le développement de système d'irrigation, notamment à travers la multiplication de puits ouverts et puits tubés (au Tamil Nadu l'électricité pour les pompes des puits tubés est pris en charge par l'État)
- L'utilisation de produits chimiques, les VHR exigent trois à quatre fois plus d'azote que les variétés traditionnelles

Afin d'aider les agriculteurs à développer leurs activités, l'État facilite l'accès aux crédits agricoles. Des politiques de subvention des intrants chimiques et des semences sont également mises en œuvre. Plusieurs institutions voient le jour pour fixer les prix d'achat et assurer la gestion des stocks des productions, à la fois pour favoriser la production agricole et soutenir les consommateurs. Par ailleurs, l'État rachète les surplus de production des régions excédentaires pour stocker les aliments et les redistribuer aux populations les plus nécessiteuses via le service de *Public Distribution System (PDS)*. Ce système permet l'accès à prix fixe et incitatif aux denrées pour les foyers avec peu de moyens à condition d'avoir un justificatif appelé *ration card*. En ce qui concerne le stock des graines, il est d'usage de les stocker dans les temples hindous et de les remplacer chaque année. Dans un contexte de libéralisme, la Révolution verte n'est pas sans conséquence. En effet, les mesures engagées restent plus favorables aux gros agriculteurs creusant les inégalités inter-régionales et intrarégionales. L'agriculture est encore peu mécanisée rendant le travail aux champs compliqué notamment pour les femmes en charge de la culture des rizières. L'utilisation des intrants chimiques provoquent des problèmes de santé auprès des agriculteurs et la sous-alimentation persiste dans certaines régions. Le déploiement de modes d'agriculture irriguée non contrôlée au profit de l'agriculture pluviale épuise l'eau des nappes phréatiques et entraîne une salinisation des terres. L'eau est également polluée par les produits chimiques. La standardisation de l'agriculture diminue la culture des variétés paysannes comme les millets qui se cultivent en agriculture pluviale sans intrants chimiques, démontrant également une résilience face aux ravageurs et maladies, l'agro-diversité en est donc impactée. Le travail de J. Han Thien Tru (2020) « Dynamiques des agricultures alternatives en Inde, trajectoires des organisations locales : l'émergence de nouveaux modèles de développement alternatifs » propose une approche critique de la Révolution verte et apporte des détails sur la diffusion spatiale de cette dernière qui complètent les éléments synthétisés ici.

Le rendement agricole augmente jusque dans les années 80 où l'on assiste à une stagnation de la production qui inquiète l'Inde. Dans les années 90 on parlera de Seconde révolution verte. D'une part l'Inde investit dans le développement d'Organisme Génétiquement Modifié (OGM), notamment pour le coton, et l'agrobusiness par des politiques libérales. D'une autre, un nouveau marché de l'agriculture biologique apparaît (Landy et Varrel, 2015). En parallèle, certaines voix s'élèvent contre la bio et l'agriculture productiviste (Contre-révolution verte), dont celle de Subha Palekar. Agriculteur dans l'État de l'Andhra Pradesh, Subha Palekar devient une figure emblématique de l'agriculture dit de "zéro budget natural farming"<sup>5</sup>. Selon des principes agroécologiques, le concept repose sur l'utilisation d'éléments naturels déjà existants pour optimiser la production agricole, par exemple l'urine de vache et le fumier pour fertiliser, la polyculture pour fertiliser les sols et protéger des maladies et ravageur, etc. Il s'agit d'une agriculture où l'homme profite des bienfaits de la nature sans apporter d'éléments étrangers (intrants chimiques) ni intervenir trop violemment (labours). Subha Palekar avance le fait que ce mode d'agriculture laisse davantage de place aux savoirs traditionnels contrairement à l'agriculture biologique qui vient des pays de l'Ouest, favorise la monoculture et l'exportation. L'objectif de la sécurité alimentaire reste la revendication première de l'agriculture naturelle, à travers la diversification des cultures et le respect des écosystèmes. (Landy, Manier et Astruc, 2022). L'agriculture naturelle reste marginale à l'échelle nationale et les modes de production issus de la révolution verte dominant, cependant il existe des spécificités inter-régionales et intra régionale qui dépendent du contexte géographique, culturelle et historique des territoires, ici le cas des Jawadhu Hills dans le Tamil Nadu est étudié.

### ***L'agriculture dans les Jawadhu Hills, à l'image du modèle national, une activité primaire dominante et fragmentée***

L'agriculture est la première activité économique des Jawadhu Hills. Parmi les 52 000 habitants recensés en 2011, presque 30 000 sont considérés comme personnes actives à travers l'emploi, l'agriculture occupe une place importante dans le quotidien des populations puisque 21 345 personnes travaillent dans le secteur agricole contre 8 588 personnes répartis dans des secteurs variés (figure 16).

---

<sup>5</sup> Davantage d'informations dans les travaux de D. MÜNSTER dont l'article "Performing alternative agriculture: critique and recuperation in Zero Budget Natural Farming, South India" in *Journal of Political Ecology* publié en 2018

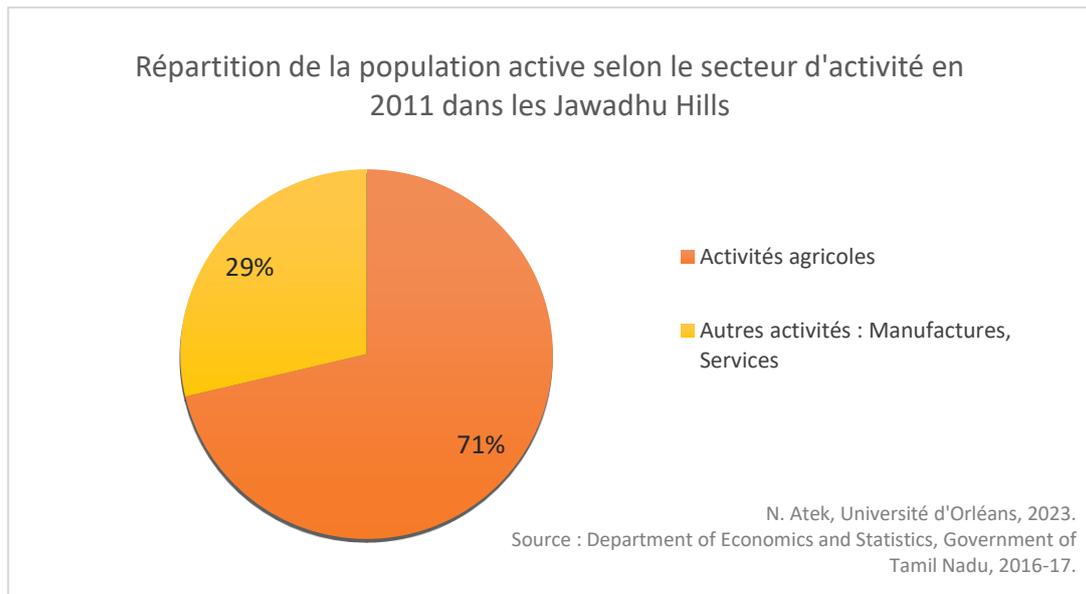
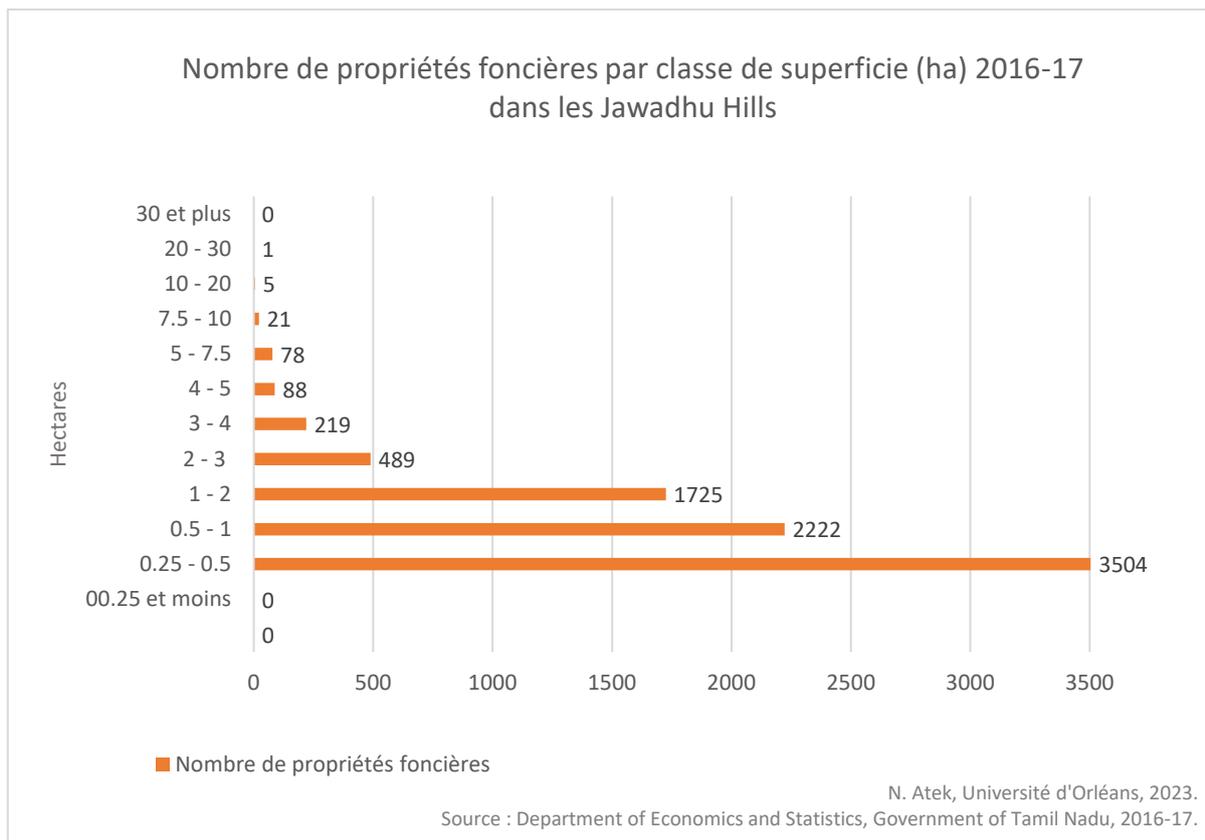


Figure 16 : Répartition de la population active selon le secteur d'activité dans les Jawadhu Hills. Source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17

Le recensement officiel indien distingue les *cultivators* (cultivateurs) des *laborers* (ouvriers agricoles). Les premiers sont des personnes qui possèdent leurs propres terres et en tirent une partie de leurs revenus. Quant aux « ouvriers agricoles », ils travaillent sur des terres dont ils n'ont pas le contrôle (Durand-Dastès in Cadène et Dumortier, 2015). En 2011, on compte 10 731 cultivateurs (60% d'hommes et 40% de femmes) et 10 614 ouvriers agricoles (49% d'hommes et 57% de femmes) dans les Jawadhu Hills. Ces chiffres laissent entendre que la moitié des personnes travaillant dans le secteur de l'agriculture ne possèdent pas de terre. Cependant 97% de la population des Jawadhu Hills est *Malayali* et que, selon l'ethnologue Manjubarkavi, tous les *Malayalis* ont reçu entre 1 et 3 âcres de terrain par le Gouvernement indien. Les 3% de population n'appartenant pas à la tribu des *Malayalis*, soit 1 560 personnes en 2011 ne sont donc pas compatibles avec les 10 614 ouvriers agricoles n'ayant pas de terres agricoles. Par conséquent, un flou subsiste sur cette notion de statut des terres. En 2015-16, 8 352 propriétés foncières ont été enregistrées comme opérationnelles pour l'activité agricole. La figure 17 ci-dessous met en évidence la dominance des très petites exploitations agricoles, à l'image de la tendance nationale.



*Figure 17 : Nombre de propriétés foncières par classe de superficie (ha) 2016-2017 dans les Jawadhu Hills.  
Source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17*

### **Le calendrier agricole dépendant du mode d'irrigation**

Le choix de culture agricole dépend de plusieurs facteurs : l'accès à l'eau, la taille des exploitations agricoles, la topographie du terrain ou encore la physionomie de l'exploitation (versant ou terrasse). Les Jawadhu Hills étant un territoire collinaire et vallonné, l'agriculture sur versant y est développée. Ces exploitations n'ont souvent pas accès à l'eau et donc dépendent de la saison des moussons. Il s'agit d'agriculture pluviale qui correspond à la saison *kharif*. Les exploitations situées en terrasses sont plus en mesure de stocker de l'eau, elles sont donc plus favorables à des cultures irriguées cultivées pendant la saison sèche - la saison *rabi* (Burgaudeau, 2018). En moyenne les Jawadhu Hills reçoivent 3 100 mm de pluie par an avec de plus importantes précipitations durant les moussons, d'abord avec celle du sud-ouest de juin à septembre puis celle du nord-est d'octobre à décembre. Dans les Jawadhu Hills 90% des surfaces agricoles répertoriées en 2016-17 sont des cultures pluviales et 10% sont des cultures irriguées (Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2017).

Dans le Tamil Nadu, les systèmes de gestion de l'eau et d'irrigation ont connu bien des évolutions avant l'arrivée des puits tubés individuels lors de la Révolution verte. L'un des premiers modes d'irrigation connu remonte à l'Âge de Pierre, dit l'Âge de Sangma. Cette période s'étend de 300 ans av. JC à 300 ans après JC, le Nord-Est du Tamil Nadu est alors gouverné par la dynastie Pallava. Pour s'adapter aux précipitations intenses et peu fiables de la mousson du nord-est, les populations ont mis en place des systèmes de réservoirs, appelés *tanks*. Ces réservoirs permettent d'alimenter les cultures à l'aide d'un système d'écluse. Il en existe de différentes tailles et aujourd'hui il s'agit de véritables bien patrimoniaux reconnus en Inde. En plus de l'eau de pluie, l'eau de ruissellement est également utilisée pour l'irrigation des parcelles agricoles à travers des outils de déviation appelés *anicut*. Le principe étant de dévier l'eau dans les parcelles adjacentes en cas de crue (Cohen et Janakarajan, 2003). Au cours au début du XXe siècle se développe les puits artésiens<sup>6</sup> fonctionnant avec une pompe électrique. Ils se démocratisent véritablement auprès des agriculteurs dans les années 70 lors de l'électrification rurale généralisée qui permet au plus grand nombre de s'équiper de ce nouvel outil de pompage. Ainsi, avec la Révolution verte, les puits tubés<sup>7</sup> ont peu à peu remplacé les puits traditionnels qui nécessitaient l'usage de la traction humaine, animale ou l'usage de diesel (Marius-Gnanou, 1992). Dans les Jawadhu Hills, 1 864 puits forés individuels et collectifs pour l'agriculture ont été recensés en 2017, dont 1 473 fonctionnant avec une pompe électrique et 391 fonctionnant avec un moteur diesel (Department of economics and statistics, Government of Tamil Nadu, 2017). En plus de ces infrastructures, 15 étangs sont répertoriés pour stocker l'eau de pluie à des fins d'irrigation des parcelles et de ressource en eau pour l'élevage. Enfin, pour la ressource en eau hors activités agricoles, chaque *panchayat* est équipé de pompes manuelles entretenues par des agents de maintenance, en tout ce sont 431 pompes qui sont répertoriées (District Rural Development, Tiruvannāmalai , 2021).

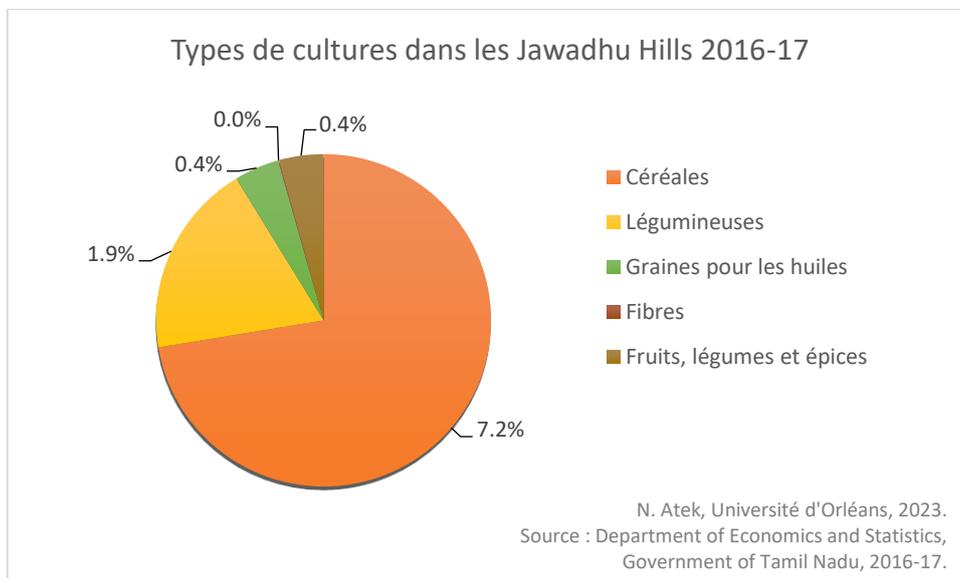
---

<sup>6</sup> Forage d'une couche de sol imperméable entre 25 et 80 cm de profondeur.

<sup>7</sup> Le tube-well ou puits tube est foré suivant la même technique que le puits artésien :les tubes, de calibre différent selon le niveau de la nappe, ont un diamètre calculé de façon que la vitesse de l'eau qui monte dans le puits ne soit pas inférieure à 1 m3/s', pour que le sable pompé en même temps puisse être évacué sans se déposer dans le fond; la majorité des puits tubés, notamment ceux qui sont à plus de 100 m de profondeur (on parlera à ce moment de bore-well), nécessitent une pompe électrique (Marius-Gnanou, 1992).

### ***Les millets, culture à la fois traditionnelle et pionnière***

La majeure partie des productions agricoles se concentre sur la production de céréales telles que le *paddy* (riz) et les millets (céréales à petits à grains) (figure 18). Les Jawadhu Hills sont particulièrement connus pour la production des millets, des céréales cultivées traditionnellement dans cette région en raison de sa résistance aux sécheresses et sa facilité de production (figure 19). Il existe 4 variétés cultivées, localement, mais c'est le *little millet* qui est largement produit en culture pluviale. Le riz est quant à lui produit à partir d'agriculture irriguée (photographie 15). Il existe trois variétés de riz répertoriés en 2016-17 : le *Sornavari*, le *Samba* et le *Navarai*, parmi eux seul le *Samba* est aussi cultivé sans irrigation.



*Figure 18 : Types de cultures dans les Jawadhu Hills, source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17*

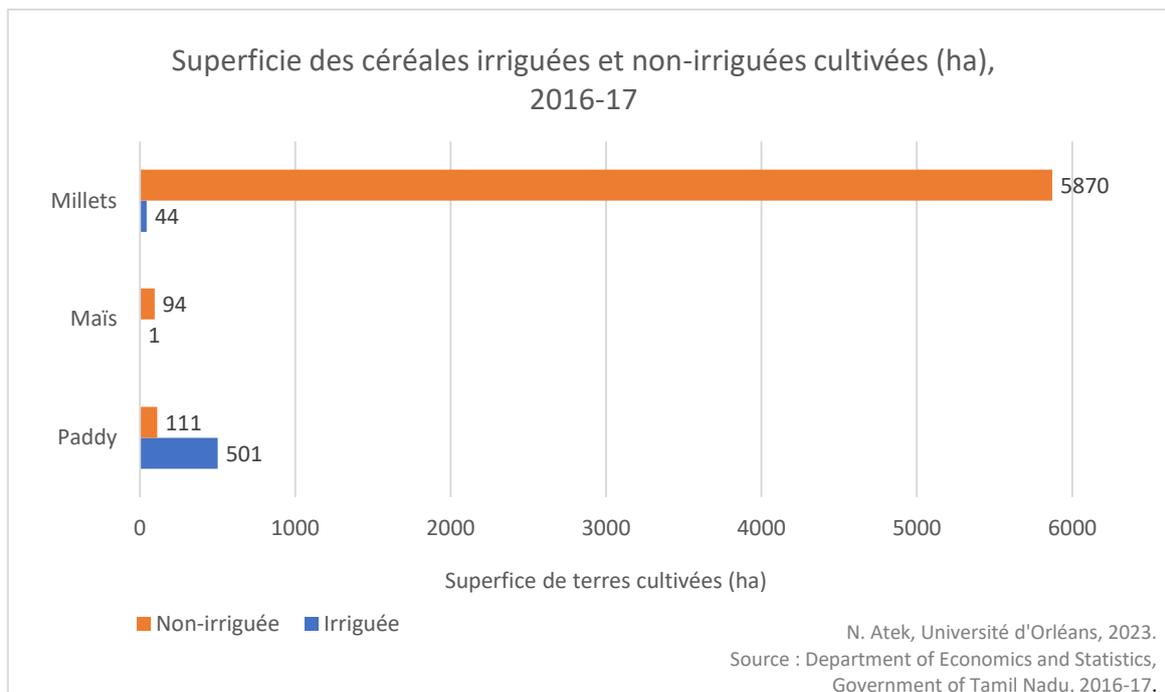


Figure 19 : Superficies des céréales irriguées et non irriguées cultivées, source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17



Photographie 15 : Rizières à différents stades de maturation, à gauche en mars 2023 à droite fin mai 2023 (Jawadhu Hills), cliché N. Atek

Concernant les légumineuses, il s'agit d'agriculture strictement pluviale dont la production principale est le *horse gram* (1 648 hectares sur 1 726 de légumineuses). Il y a 398 hectares qui sont consacrés à la production de graines de sésames et d'arachides pour l'huile, produites globalement de manière non-irriguée. Sont recensés également 8 ha de coton irrigués et 360 ha de fruits, légumes et épices irrigués dont la banane, le tapioca, le sucre de canne et le

curcuma. Pour le travail de la terre, les agriculteurs utilisent majoritairement des charrues en bois ou en fer.

L'élevage est également présent dans les Jawadhu Hills, 23 634 bêtes ont été recensées en 2013, 56% est de l'élevage de bovins, 32% de chèvres et 10% de moutons, le reste étant des porcs, des bisons et des cheveux. Il existe une production de lait sur le territoire. Généralement les fermiers gardent une partie de leur production agricole pour leur propre consommation et revendent l'autre partie. Il existe aussi des cultures sous contrat, dont les semences de tapioca, banane plantain, goyave, concombre, cornichon, citron, ananas voire de poivre et café, sont fournies par des entreprises agroalimentaires. Les fermiers cultivent les semences fournies par une entreprise externe qui garantit le rachat de la production. Concernant la distribution alimentaire organisée par le Gouvernement, en 2016, 11 406 familles auraient bénéficié du PDS et reçues du riz, du blé, du sucre et du kérosène. Étant donné qu'une seule carte de distribution alimentaire est répartie par foyer il est estimé qu'au moins 22% de la population des Jawadhu Hills reçoit une aide alimentaire de l'État.

En termes d'acteurs de la filière agricole, deux coopératives (*Farmer Producer Company*) sont présentes dans les Jawadhu Hills rassemblant 20 000 membres, l'une à Jamunamarathur et l'autre à Nammiyambat. Pour anticiper d'éventuelles famines, les *panchayats* ont une capacité de stockage estimée à 80 tonnes et les deux coopératives agricoles pourraient stocker jusqu'à 200 tonnes de semences (Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17).

### ***Les dynamiques intrafamiliales intrinsèquement liées à la migration***

Dans les Jawadhu Hills bien souvent, l'entièreté de la famille qui possède le terrain travaillent dans l'exploitation agricole. Le travail mené par Chloé Burgaudeau dans le village de Mel Nellimarathur (Jawadhu Hills) en 2018 souligne le fait que les fermiers possédant une exploitation égale ou inférieure à 2 ha sont plus susceptibles d'avoir une activité économique complémentaire agricole ou non. Dans le cadre de recherche d'une source de revenu complémentaire, les familles se retrouvent fragmentées à cause de la migration de certains membres. En effet, la migration saisonnière notamment durant la saison sèche est courante dans les Jawadhu Hills, les États du Kerala et du Karnataka sont privilégiés pour leurs plantations de thé et de café. En plus d'entraîner des répercussions sociales intrafamiliales, les

conditions de travail des migrants sont difficiles et dans certains cas ils subissent des formes de ségrégation du fait de leur statut tribal. Pour éviter de migrer, les familles essaient de diversifier leurs activités localement. Par exemple, les femmes *Malayalis* savent pratiquer l'élevage de chèvre et volaille et se former à l'apiculture. Ce genre d'alternatives permet d'employer davantage de membres de la famille et favorise l'éducation des enfants, améliore leurs conditions psychologiques et leur nutrition (Sumathi et Manjubarkavi, 2015).

### ***Quels enjeux au développement rural dans les Jawadhu Hills ?***

La qualité paysagère et les richesses naturalistes des Jawadhu Hills sont un véritable potentiel de développement de l'écotourisme. La région offre une escapade verdoyante et propose un véritable îlot de fraîcheur aux habitants des États frontaliers et des zones urbaines qui souffrent des hautes températures en avril et en mai. Il s'agit là d'un argument fort d'attractivité territoriale. En bordure de lac, une *Guest House* propose des activités nautiques telles que du pédalo et des balades en bateau. Chaque dimanche le lac est très fréquenté par les locaux et les touristes indiens. Plusieurs cascades (voir photographie 16) et points de vue sont des lieux d'intérêt. L'Observatoire astronomique Vainu Bappu est également ouvert au public tous les samedis soir. Les Jawadhu Hills abritent des sites historiques dont des temples et des pierres tombales témoins de l'Âge de Pierre et des dynasties Pallava (IIIe - IXe siècle) et Chola (IXe - XIIe siècle), âge d'or de l'histoire Tamoul. De plus, l'activité apicole est vivement développée par le Département de l'Horticulture et des Cultures. L'institut possède un bureau à Jamunamarathur avec deux référents chargés de la mise en place des programmes à l'échelle locale et du suivi des activités agricoles. En 2020, le Département de l'Horticulture a créé un parc à pollinisation. L'objectif de ce dispositif est de pallier le problème de raréfaction des pollinisateurs dans les Jawadhu Hills en offrant un espace non pollué par des intrants chimiques avec des essences de plantes diversifiées et indigènes (Tiruvannāmalai district). Les *Farmer Producer Company* proposent des formations d'apiculture au sein de groupes d'entraide féminins. Cependant, même si le développement économique et social des tribus des Jawadhu Hills est l'une des priorités des acteurs locaux et institutionnels, l'isolement de certains villages persiste et de nouveaux enjeux apparaissent. Les Jawadhu Hills sont sujets à d'importantes variations de précipitation durant la mousson, la formation de microclimat en addition à la variation naturelle de la mousson rend complexe l'adaptation des activités agricoles au climat. Le rôle d'évènements climatiques globaux, comme El Nino-Oscillation

Australe ou encore le changement climatique, n'est pas encore déterminé et pose questions. De fait, la DHAN Foundation entreprend des travaux dans le champ de l'atténuation et l'adaptation au changement climatique auprès des groupes de fermiers.



*Photographie 16 : Beeman fall (Jawadhu Hills), mai 2023, cliché N. Atek*

## 1.2 Les Jawadhu Hills, un lieu d'intervention historique de la *DHAN Foundation*

La *Development of Humane Action (DHAN) Foundation* est une organisation non gouvernementale (ONG) indienne créée le 2 octobre 1997 à Madurai par M.P Vasimalai, directeur exécutif. L'institution de renommée nationale, voire internationale par ses liens avec d'autres pays du monde, est pionnière dans le développement local et indigène de l'Inde. Cette ONG intervient dans les Jawadhu Hills en faveur de la promotion des millets mineurs et l'adaptation de l'agriculture au changement climatique mais également pour développer l'accessibilité aux soins médicaux ou encore favoriser l'entraide entre les femmes.

### 1.2.1 Les préceptes de Gandhi, inspiration des fondements de la *DHAN Foundation*

La création de la *DHAN Foundation* s'inspire des préceptes de Mahatma Gandhi, selon lesquels "le devoir le plus élevé d'un individu dans la vie est de servir l'humanité et de participer à l'amélioration de sa condition". Il est question de dépasser l'accomplissement individualiste en admettant que la fortune de chacun revient également à la communauté dans un devoir de satisfaire le bien-être de celle-ci (Gandhi, 1939). Pour cela, *l'empowerment* est l'un des mots d'ordre de la *DHAN Foundation*. Dans le cadre de l'ONG indienne, il s'agit d'un processus de développement de compétences et de responsabilisation de l'individu dans une perspective d'autonomisation d'un collectif (Bacqué et Biewener, 2013). Ce processus s'adresse en particulier à un public défavorisé par un isolement géographique ou encore un isolement social. À travers cette ligne de conduite, la *DHAN Foundation* affirme ses valeurs par des actions sur le terrain dans des démarches de travail collaborative innovantes qui mettent au cœur des priorités la capacité des individus pour l'intérêt et le bien-être de la communauté (Rigal, 2019).

Son objectif principal est d'éradiquer la pauvreté du pays par la construction d'une société en accord avec les valeurs d'équité, d'écologie, de démocratie ou encore d'inclusivité. Le développement visé ne relève pas de la seule croissance économique mais s'accompagne de "transformations techniques, sociales, territoriales, démographiques et culturelles" (Géoconfluences, 2006).



Pour atteindre ses objectifs, l'organisation se décline en institutions et programmes qui s'intéressent aux différents enjeux du développement en Inde. Le premier programme mis en place est la Fondation *Kalanjiam* dont l'objectif premier est la réduction de la pauvreté par la création de services bancaires communautaires. Par la suite, la fondation *Vayalagam* est créée pour répondre aux problématiques de la protection et de l'accès aux ressources en eau. Elle est complétée par le programme de développement pour l'agriculture pluviale. Le programme ICT (*Information Communication Technology for Poor*) tente d'apporter des solutions face aux inégalités d'accès aux nouvelles technologies de communication par les populations précaires. L'ONG intervient aussi en réaction aux catastrophes naturelles, par exemple avec le Programme de conservation côtière et de moyen de subsistance à la suite du tsunami de 2004. Concernant l'agriculture et l'alimentation, la *DHAN Foundation* crée la *Small Millet Foundation*, ou Fondation des millets mineurs, en 2011. L'institution travaille avec les *panchayats* et s'intéresse à la gouvernance locale. Enfin, le tourisme durable est également envisagé comme une forme de développement, il s'établit par le programme Tourisme pour le développement.

Afin de mener à bien l'ensemble de ses actions, la *DHAN Foundation* forme ses professionnels aux métiers du développement notamment aux seins d'institutions telles que la *DHAN Academy*, créée en 2000 à Madurai. Ces professionnels dirigent les actions en collaboration avec les communautés après identification des enjeux locaux. Les bénéficiaires des actions de la DHAN doivent revenir exclusivement à la communauté et permettre son autonomie. Pour ce faire, des organisations civiles sont formées et chargées de la durabilité des infrastructures mises en place. L'ONG collabore également avec des institutions gouvernementales ou non-gouvernementales. Ces relations permettent un échange de savoirs importants pour garantir l'efficacité des actions menées et rester au fait des dernières innovations en termes de développement.

### 1.2.3 Les Jawadhu Hills terre d'action pour le développement agricole et l'adaptation au changement climatique

Dans les Jawadhu Hills, la *DHAN Foundation* intervient depuis 2009 auprès de la population locale dans les domaines de l'agriculture, du changement climatique, de l'économie et de la santé. Ces programmes apportent des services auxquels les habitants n'ont pas ou peu accès sur leur territoire. Les populations précaires et les femmes, à travers l'objectif d'*empowerment*, sont particulièrement visées par ces actions. Le bureau local de la *DHAN Foundation* se situe à Jamunamarathur, centre d'activité des Jawadhu Hills. Il compte deux salarié.es (P. Anitha et J. Ganeshkumar), six associé.es (quatre sur la fondation des millets mineurs et deux sur l'action pour le changement climatique) et un assistant de programme (K. Moorthy). Les échanges ont lieu dans les locaux de la *DHAN Foundation* pour déterminer les prochains enquêtés, les sujets à aborder et planifier les sorties de terrain (photographie 17). La politique de fonctionnement de la *DHAN Foundation* veut que tous les cinq ans, ses salariés changent de poste notamment pour diversifier leurs compétences. Dans ce contexte, les deux salariés ont été mutés à Madurai en avril 2023, et leur remplaçant, A. Babu est arrivé au cours du mois de mai de la même année. S. Manjubarkavi, doctorante en sociologie encadrée par la professeure S. Sumathi de l'Université de Madras, est venue apporter son soutien lors des enquêtes.



Photographie 17 : Préparation des enquêtes de terrain avec les référents locaux de la DF, S. Manjubarkavi, N. Atek et M. Rzegoczan (Jamunamarathur), mai 2023, cliché S. Manjubarkavi

### ***Women Self-Help Groups (SHGs) - Programme Kalanjiam***

La *DHAN Foundation* est à l'origine de la création de *women Self-Help Groups (SHGs)* dans les Jawadhu Hills. Par ces groupes d'entre-aide, les femmes mettent en commun une part de leurs économies et profitent d'un accès facilité aux prêts, grâce aux banques partenaires. Un système de micro-assurance garantit une sécurité financière pour faire face aux risques sanitaires ou climatiques auxquels les populations précaires sont particulièrement exposées. L'objectif est d'organiser les communautés féminines en zone rurale afin de promouvoir leur développement et d'améliorer leur niveau de vie (*DHAN Foundation*).

### ***Sustainable Healthcare Advancement Hospital (SUHAM)***

En 2021, la *DHAN Foundation* installe un de ses huit hôpitaux SUHAM à Jamunamarathur, le plus grand village des Jawadhu Hills. Un médecin, un pharmacien et deux infirmières et un assistant laboratoire accueillent les patients quotidiennement. Ces derniers peuvent y recevoir des conseils médicaux, des premiers soins ou un suivi médical gratuitement, des réductions de 20% sont appliqués aux médicaments par rapport aux prix du marché (Rigal et Marie-Catherine, 2023). L'hôpital est équipé d'un véhicule en cas d'urgence. L'infrastructure constitue une alternative à l'hôpital du gouvernement situé dans le même village : certains habitants ont davantage confiance en la *DHAN Foundation* car ils sont insatisfaits des services du gouvernement. Cependant, le SUHAM est surtout un programme de sensibilisation, les urgences majeures ou les pathologies sévères sont prises en charge dans les hôpitaux alentours (*DHAN Foundation*).

### ***Small Millet Foundation et Programme d'Adaptation au Changement Climatique***

Dans les Jawadhu Hills, la *DHAN Foundation* intervient plus particulièrement auprès des agriculteurs dans le cadre de la *Small Millet Foundation* ou de l'Adaptation au Changement Climatique. En effet, l'ONG s'investit dans l'ensemble de la chaîne alimentaire des millets mineurs : de la production à la consommation, en passant par la commercialisation. Un premier projet est lancé de 2011 à 2014 nommé "Revalorisation des millets mineurs dans les régions pluviales de l'Asie du Sud (RESMISA)" en partenariat avec la *Canadian Mennonite University* (Canada), LI-BIRD (Népal) et la *Arthacharya Foundation* (Sri Lanka). Il est suivi par le

projet de “Projet de développement des millets mineurs après leur récolte et des produits alimentaires nutritifs” de 2016 à 2018 en collaboration avec l’Université McGill (Canada).

Les deux projets sont aussi soutenus par des instances canadiennes à portée internationale : le Centre de Développement de Recherches International (IDRC) et des Affaires étrangères (CIDA) dans le cadre du Fond Internationale de Recherche de la Sécurité Alimentaire Canadian (CIFSRF). L’objectif général de la *Small Millet Foundation* à travers l’ensemble de ses programmes est d’intensifier la production et la transformation des millets pour participer à la sécurité alimentaire de l’Inde, grâce à des méthodes et des technologies réduisant la pénibilité du travail, en particulier des femmes. Pour ce faire, l’ONG agit localement en incluant les producteurs de millets. Des Organisations de Fermiers Producteurs (FPOs) sont créées, en complément des groupes d’entraide féminins (SHGs). Les FPOs favorisent les échanges de savoirs entre les fermiers mais aussi le développement des relations économiques avec les commerçants ou les consommateurs, ou encore le renforcement des petites et moyennes entreprises. Ils profitent également des services et conseils de l’ONG, et d’interventions de sensibilisation.

Dans le cadre de ces programmes la DF a également mis en place cinq machines de traitement des millets (tris et décorticage), 1kg de traitement de petit millet coûte 7 roupies à l’agriculteur, ces machines ont pour but de faciliter la consommation des millets. L’argent récolté rémunère une personne employée pour la gestion des machines et la tenue d’un cahier de compte, ainsi que pour les frais de fonctionnement (électricité, entretiens, loyer) (Rigal et Marie-Catherine, 2023).

Concernant le Programme d’Adaptation Changement Climatique, la *DHAN Foundation* base également son action sur la formation de groupes d’entraide de fermiers pour favoriser les échanges de savoirs depuis 2020. Les agents locaux de locaux de l’ONG entrent régulièrement en contact avec ces groupes pour identifier les principales problématiques et apporter une aide extérieure notamment à l’aide d’outils de type *Participatory Rural Appraisal* qui mobilisent les connaissances et l’expérience des agriculteurs pour favoriser l’échange et l’émergence de solution en groupe (photographie 18). Les principales initiatives répondent aux enjeux liés à la gestion de la ressource en eau et l’érosion des sols. Des actions sont également menées pour améliorer les conditions de vie des villages isolés notamment via la distribution de batteries et lampes à énergie solaire.



Photographie 18 : Atelier de frise chronologique des cultures animé par P. Anitha, référente locale de DHAN Foundation dans les Jawadhu Hills, cliché N. Atek, mars 2023.

Dans les Jawadhu Hills, 30 FPOs à l'échelle des villages et sept FPOs à l'échelle des *panchayats* sont formés dans le cadre de la Fondation des Millets Mineurs. Les *panchayats* choisis sont majoritairement ceux situés en plaine où la production agricole est plus importante. Les trois FPOs s'intéressant à l'Adaptation au Changement Climatique, ainsi que les actions du programme, sont davantage situés dans les *panchayats* en haut de versant où les problématiques liées à l'érosion des sols et à l'accès en eau sont plus importantes qu'en plaine (figure 21). Sur les onze *panchayats* des JH, six travaillent sur le petit millet, trois travaillent sur le changement climatique avec la DF. Les deux *panchayats* restant ne font encore partie d'aucun programme car ce sont les plus difficilement atteignables (figure 21). Chaque groupe se compose de 12 à 20 membres qui élisent un président (gestion du groupe), un vice-président (gestion des risques), un secrétaire (santé), un secrétaire adjoint (subsistance), et un trésorier (gestion de l'argent) (figure 22).

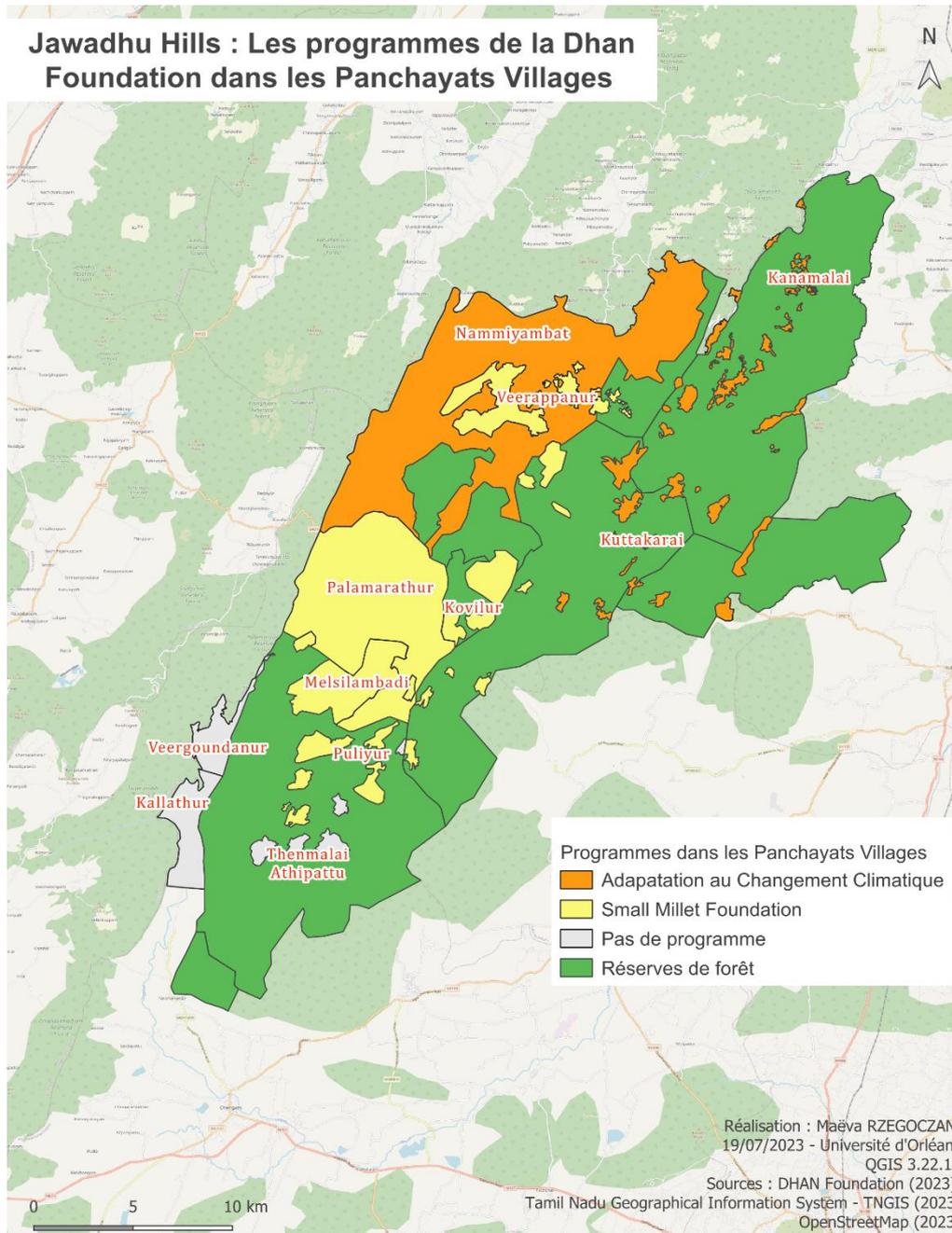
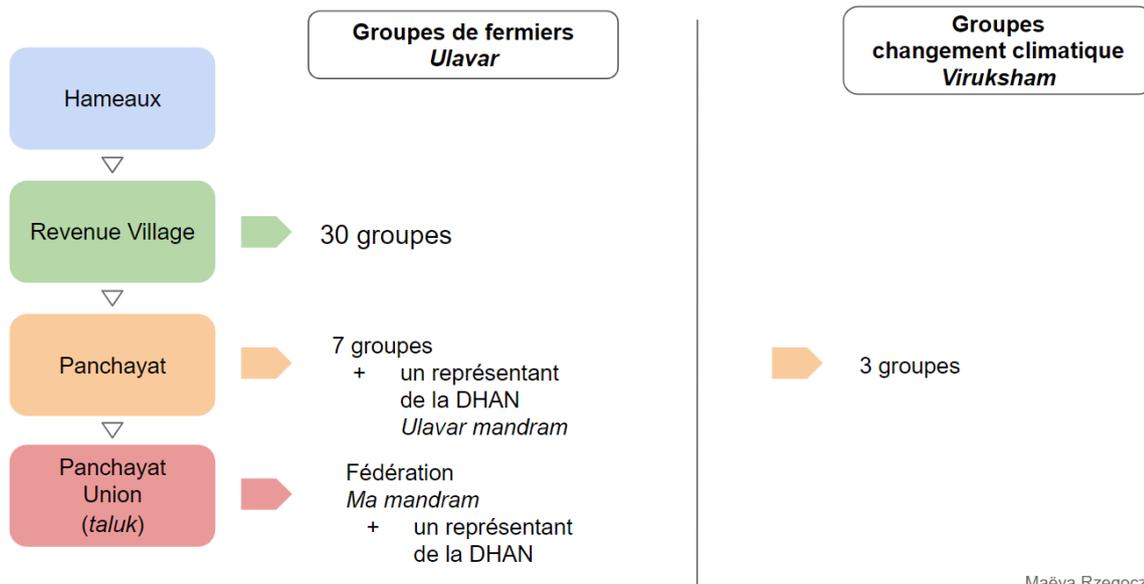


Figure 21 : Les programmes de la DHAN Foundation dans les panchayats des Jawadhu Hills, M. Rzegoczan, 2023. Source : DHAN Foundation



Maëva Rzegoczan  
 20/07/2023 - Université d'Orléans  
 Google Slides  
 Source : Dhan Foundation, 2023

Figure 22 : Les Organisations de Fermiers Producteurs de la DHAN Foundation dans les Jawadhu Hills, source : DHAN Foundation, 2023

En 2019, la *DHAN Foundation* a été récompensée par le prix national Siridhanya dans la catégorie “Meilleure ONG” par l’Institut indien de recherche sur les millets et le Département de l’agriculture du Karnataka pour ses actions menées autour de la revalorisation des millets depuis 2011.

## 1.3 Le projet PATAMIL, une recherche action multi-acteurs en faveur de la justice alimentaire, de la sensibilisation au changement climatique et la lutte contre la pauvreté et l'indignité

Le programme de recherche-action Projets Alimentaires Territoriaux - TAMIL Nadu (PATAMIL) lancé en octobre 2021 pour une durée de trois ans est le fruit d'une coopération entre les régions du Centre-Val de Loire et du Tamil Nadu, en Inde du sud. Porté par les laboratoires de recherches du CEDETE<sup>8</sup> de l'Université d'Orléans, de CITERES<sup>9</sup> et du GÉHCO<sup>10</sup> de l'Université de Tours, il s'agit de caractériser les actions de démocratie alimentaire en France et de souveraineté alimentaire en Inde dans une logique de transition alimentaire.

### 1.3.1 La recherche d'une justice alimentaire et d'une alimentation durable, origine d'un travail de coopération multi-acteur entre la France et l'Inde

Le programme est né d'un constat d'une alimentation à deux niveaux : l'une respectueuse de l'environnement et des producteurs proposant des aliments de qualité à travers des circuits courts et locaux destinés à une population aisée ; l'autre constituée de produits de moindre qualité, souvent transformés et venant de loin, produits dans des conditions environnementales médiocres, s'adressant à un public peu aisé. L'objectif du programme PATAMIL est de rompre ce système au nom de la démocratie et de l'équité alimentaire à travers l'étude de systèmes alimentaires territoriaux français et indiens investis dans des démarches agricoles et alimentaires justes et durables. La volonté du programme est d'analyser les questions agricoles et alimentaires de manière interdisciplinaire, opérationnelle, solidaire et intergénérationnelle. Il s'agit également d'apporter des éléments complémentaires dans la définition des concepts au cœur du programme que sont la démocratie alimentaire,

---

<sup>8</sup> Centre d'Études pour le Développement des Territoires et l'Environnement

<sup>9</sup> Cités, Territoires, Environnement et Sociétés

<sup>10</sup> GéoHydrosystème Continentaux

l'alimentation juste et durable en s'appuyant sur les travaux déjà effectués par les réseaux existants et les partenaires franco-indiens de PATAMIL (Sajaloli, 2020).

La notion de transition alimentaire tend à une mutation des systèmes alimentaires et agricoles selon des principes d'alimentation durable, de justice alimentaire et de démocratie alimentaire. L'alimentation durable est considérée, à travers une approche systémique, comme étant l'ensemble de pratiques et de choix alimentaires qui respectent des critères environnementaux, éthiques (accessibilité pour tous à une alimentation de qualité, rémunération équitable des agriculteurs, respect du bien-être animal...), et de santé (qualité nutritionnelle et sécurité sanitaire (Redlingshöfer, 2006), ceci à tous les niveaux de la filière : la production, la transformation, les modes de distribution, la consommation (Paturel et Ramel, 2017). Cette alimentation durable est partie prenante de la démocratie alimentaire selon Ndiaye et Paturel en 2017. Elle est définie comme "la possibilité pour les citoyens de décider de façon autonome, non descendante, de leurs choix d'alimentation et de mettre en place des actions, des filières alimentaires, qui convoquent l'ensemble des parties prenantes (producteurs, transformateurs, distributeurs, consommateurs), en évitant les rapports d'asymétrie, pour favoriser la participation, la prise de décision des citoyens, y compris lorsqu'ils sont en situation de précarité alimentaire" (Lang, 1999). La démocratie alimentaire croise aussi des notions de solidarité alimentaire et de droit à l'alimentation (Balbot *et alii* 2020). D'ailleurs PATAMIL distinguent deux formes d'actions de solidarité alimentaire : les « solidarités démocratiques » (réciprocaires et valorisant l'autonomie des personnes) les « solidarités philanthropiques » plus verticales (Laville, 2010) de l'ordre de l'assistance alimentaire. Ainsi les notions de démocratie alimentaire et de solidarité alimentaire font aussi échos à la justice alimentaire. Celle-ci concerne la capacité à avoir accès à une alimentation de qualité grâce à des processus de gouvernance favorisant l'empowerment des populations pour exercer une citoyenneté alimentaire et agricole (Lyson, 2004 ; Renting *et alii*, 2012) privilégiant des systèmes d'aide alimentaire qui préfèrent la justice à la charité (Paturel 2020 ; Retière et Le Crom, 2018) et qui reconnectent les difficultés de certains agriculteurs avec des besoins alimentaires locaux mal satisfaits (Paturel et alii, 2015 ; Marescot, 2019). Le programme PATAMIL s'interroge alors sur les manières de mettre en place et favoriser la justice alimentaire localement, au sein de systèmes alimentaires durables. Sur quels critères définir la justice alimentaire, quel mode d'évaluation et par qui ? Quels systèmes alimentaires

pour plus de justice alimentaire ? Quel rôle de l'agriculture et de l'alimentation dans la réduction des inégalités locales (Sajaloli, 2020) ?

Pour apporter des éléments de réponses à ces questionnements, quatre terrain-laboratoire ont été sélectionnés, deux français et deux indiens : le Pays des Châteaux et le PETER Centre Cher ; Pondichéry et les Jawadhu Hills. Les partenaires académiques et non académiques coopèrent dans la réalisation de 6 Tâches elles-mêmes subdivisées en *WorkPackage* (WP) : Tâche 1 : Construire des territoires alimentaires équitables dans le Tamil Nadu ; Tâche 2 : Gouvernance et résilience des projets alimentaires territoriaux de Pondichéry et des Jawadhu Hills ; Tâche 3 : Du Projet Alimentaire Territorial à la démocratie alimentaire en région Centre-Val de Loire ; Tâche 4 : Équité alimentaire et coopération décentralisée : transferts d'expériences entre la Région Centre-Val de Loire et le Tamil Nadu ; Tâche 5 : Diffusion Grand Public ; Tâche 6 : Une gouvernance participative et structurée. Parmi les partenaires académiques se trouvent les trois laboratoires français mentionnés plus tôt ainsi que l'Institut français de Pondichéry (IFP), l'Université de Pondichéry et l'Université de Madras (Chennai, Inde). Les parties prenantes non académiques françaises sont l'Institut Européen d'Histoire et des Cultures de l'Alimentation (l'IEHCA), Centre Sciences, CENTRAIDER, l'association A.S.I.E, l'association RESOLIS, le Syndicat Mixte du Pays des Châteaux et le PETER Centre-Cher. La figure 23 synthétise l'ensemble des partenaires du projet PATAMIL et leur rôle dans le projet. Les 4 terrains-laboratoires sont surlignés en rose, les centres de ressources et de diffusion des acquis de PATAMIL en orange foncé, les partenaires indiens sont en vert, les partenaires de la Région Centre-Val de Loire en jaune et les trois laboratoires de recherches de la Région en orange. A.S.I.E. bénéficie d'une couleur spécifique car elle intervient à la fois en Inde en tant que lien avec la *DHAN Foundation* et en Région Centre-Val de Loire avec Centre Sciences (Sajaloli, 2020). L'organisation, le suivi et les résultats de PATAMIL sont disponibles sur le site web dédié, les thématiques abordées dans ce travail sont donc présentées à l'adresse suivante : <https://patamil.centraider.org>.

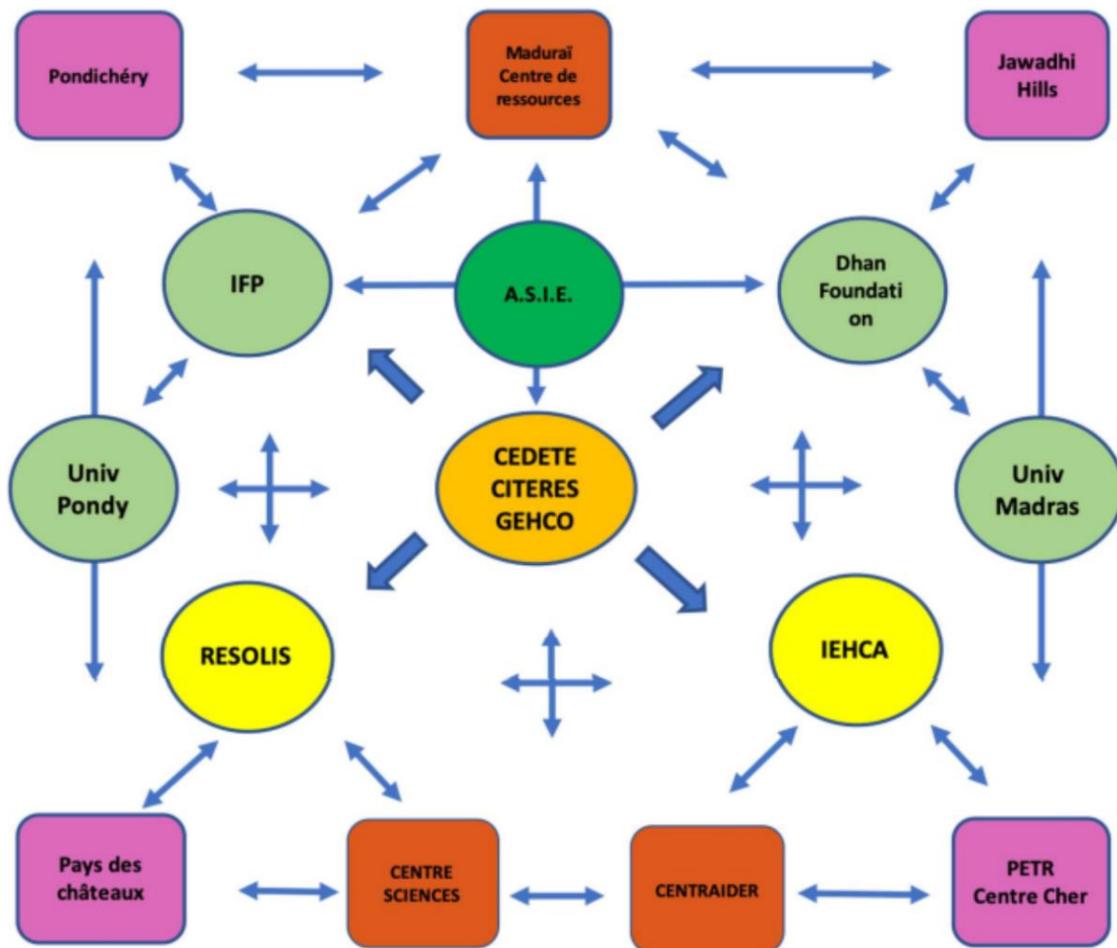


Figure 23 : Les partenaires du programme PATAMIL, source : Sajaloli, 2020

### 1.3.2 Les Jawadhu Hills terrain propice à l'étude de la sécurité alimentaire à travers les dynamiques agricoles et le changement climatique

Pourquoi les Jawadhu Hills comme terrain d'étude propice de PATAMIL ? Les Jawadhu Hills, ont déjà fait l'objet d'étude auprès de l'IFP et sont un terrain de travail de la *DHAN Foundation*. Malgré des politiques de développement gouvernemental pour le bien-être des tribaux, la population des Jawadhu Hills reste isolée et dépend d'une agriculture de subsistance. Deux types d'agriculture se distinguent : l'agriculture pluviale du millet ; l'agriculture irriguée essentiellement de paddy. Alors que les plats traditionnels de millet ont laissé peu à peu leur place au riz dans le quotidien des familles modestes, un véritable marché du millet s'ouvre aux classes plus aisées notamment à l'extérieur des Jawadhu Hills, passant

d'une culture vivrière du millet à une culture de rente. L'agriculture est la première activité génératrice de revenus dans les Jawadhu Hills et elle est également le principal moyen pour les familles de subvenir à leurs besoins nutritionnels, ce qui rend les conditions de vie des *Malayalis* particulièrement sensibles aux variabilités climatiques extrêmes. Par ailleurs, pour sa survie, une partie de la population est contrainte de migrer dans des États voisins notamment pendant la saison sèche, offrant un revenu complémentaire au foyer. Cette migration n'est pas sans impact sur l'équilibre des familles et leur bien-être, notamment auprès des enfants. Enfin, l'agriculture est un facteur *d'empowerment* en particulier pour les femmes à travers des *self-help group*.

Les systèmes alimentaires et agricoles des Jawadhu Hills présentent donc de forts enjeux liés à la sécurité alimentaire de la population. C'est pourquoi deux travaux de recherches sont conjointement menés dans les Jawadhu Hills par Noémie Atek et Maëva Rzegoczan, étudiante en M2 Géographie à l'Université d'Orléans parcours Développement Durable, Local et Solidaire. L'un sur les manifestations du changement climatique et la perception de celui-ci auprès des agriculteurs ; l'autre sur les modes de diffusion du millet et les calendriers agricoles des Jawadhu Hills. Dans le cadre du *WorkPackage 1* de la Tâche 1 " Une agriculture saine pour une alimentation équitable", le travail de Maëva Rzegoczan est venu en complément de celui entrepris par Cécile Grosbois et Sébastien Salvador-Blanes du laboratoire du GÉHCO. Il s'agit d'étudier les systèmes de culture des Jawadhu Hills notamment à l'aide de prélèvements pédologiques afin de caractériser les conditions physiques et paysagères des Jawadhu Hills. Le travail de Maëva Rzegoczan a consisté à suivre la rotation des cultures sur les mêmes exploitations qui ont fait l'objet de prélèvement par le GÉHCO. Cette caractérisation pourra être porteuse d'un développement de projets d'agro-éco-tourisme dans les Jawadhu Hills en lien avec la DHAN Foundation et avec les universités de Pondichéry et de Madras. Il s'agissait aussi d'apporter un travail préliminaire au T1-WP3 sur les questions de la concurrence ou de l'équilibre entre culture vivrière et culture de rente, afin d'instaurer des conditions de vie dignes et justes des agriculteurs en intégrant les notions de diversité sociale des campagnes entre les différentes castes et au regard des situations socioéconomiques des paysans (propriétaires, sans terre).

Dans le cadre du T1-WP2 "Sociétés rurales et dignité humaine" Noémie Atek a examiné les éventuels impacts négatifs du changement climatique sur les activités agricoles dans les

Jawadhu Hills et les processus de résilience adoptés par les fermiers en lien avec la *DHAN Foundation* ont été étudiés. Il s'agissait de caractériser les mesures d'adaptation voire de les évaluer à travers les actions de la DF dans les Jawadhu Hills (T2 WP2). Ce travail a été réalisé lors d'un séjour en Inde durant quatre mois, de mars à début juillet 2023. Les mois de mars et avril ont été riches en rencontres, durant ces deux mois l'objectif a été de s'approprier le contexte territorial avec les notions clés via la rencontre des acteurs locaux. Le *Food Local Festival* a offert une très bonne introduction aux enjeux alimentaires indiens et au contexte territorial des Jawadhu Hills. La première partie du festival a eu lieu dans le terrain d'étude des Jawadhu Hills animés par les référents locaux de la *DHAN Foundation*, interlocuteurs de premier plan pour les travaux de M. Rzegoczan et N. Atek. Ce fut l'occasion de rencontrer des agriculteurs, des groupes de *self-help women*, des partenaires académiques comme l'Institut Français de Pondichéry (également organisateur du festival) et l'Université de Madras avec la doctorante S. Manjubarkavi et le professeur S. Sumathi Rajesh. La seconde partie du festival s'est déroulée à Pondichéry, propice à la découverte des travaux entrepris par Marie-France Umutesi<sup>11</sup> et Lucille Lahaye<sup>12</sup> étudiante en M1 Géographie spécialité Nouvelles ruralités, agricultures et développement local à l'Université de Paris Nanterre. Durant trois mois elles ont étudiées les politiques agricoles indiennes ainsi que les dynamiques de production et de consommation des millets à Pondichéry. En amont et durant le séjour en Inde, un travail bibliographique a été vivement mené en collaboration entre ces deux étudiantes et leur référent universitaire Frédéric Landy et les deux étudiantes de l'Université d'Orléans accompagnées de leur référent universitaire Bertrand Sajaloli.

C'est en mi-mars que le directeur exécutif de la *DHAN Foundation* M.P Vasimalai ainsi que les chefs de projets des différents pôles ont été rencontrés. Un travail de clarification sur les objectifs de l'étude du changement climatique dans les JH a été mené, en proposant un rétroplanning des différentes étapes de l'étude avec les points de vigilance et les exigences des deux parties prenantes : la *DHAN Foundation* et le Laboratoire du CEDETE de l'Université d'Orléans. P. Anitha et J. Ganeshkumar ont été les deux référents locaux situés dans les Jawadhu Hills, P. Anitha responsable du pôle changement climatique dans le territoire avait la

---

<sup>11</sup> Sujet de mémoire : « L'(im)possible développement de l'agroécologie face au régime sociotechnique de l'agriculture conventionnelle dans l'État du Tamil Nadu », 2023.

<sup>12</sup> Sujet de mémoire : « Les millets, une alternative au modèle productiviste de la Révolution verte en Inde du Sud ? », 2023.

charge de suivre le travail de N. Atek. Début avril fut donc l'occasion de sa familiariser avec son travail lors d'ateliers de PRA, la visite d'exploitations agricoles et d'étangs en rénovation ou encore la distribution d'équipements photovoltaïques. Cependant, ce moment a été écourté par le départ des deux référents locaux mi-avril, qui ont été remplacés début mai. Le reste du mois d'avril s'est donc concentré sur des recherches bibliographiques sur le territoire et son contexte agricole. Un appui technique a été apporté par le département de SIG de l'IFP notamment J. Andrieu, responsable du département, pour la réalisation de cartographies. Les quelques passages à Pondichéry en avril et juillet ont été des moments privilégiés pour échanger avec la sphère scientifique sur place et obtenir de l'aide. Par ailleurs, dans le cadre de PATAMIL, une intervention auprès du Lycée Français de Pondichéry a également eu lieu pour présenter les parcours d'études supérieures et l'Université d'Orléans.

La phase de terrain dans les Jawadhu Hills s'est répartie sur les mois d'avril, mai et juin selon les disponibilités des référents locaux de la DF. Les enquêtés de M. Rzegoczan et N. Atek devant être les mêmes pour les besoins de l'enquête, chaque entretien s'est déroulé en deux temps correspondant aux deux sujets d'étude menés dans les Jawadhu Hills. La majorité du temps au moins un référent local de la DF était présent, S. Manjubarkavi a également accompagné les deux étudiantes durant les entretiens du 23 et 24 mai. En parallèle, N. Atek a mené une étude climatologique durant les mois de mai et juin complétant le travail qualitatif fourni par l'enquête réalisée figure 25.

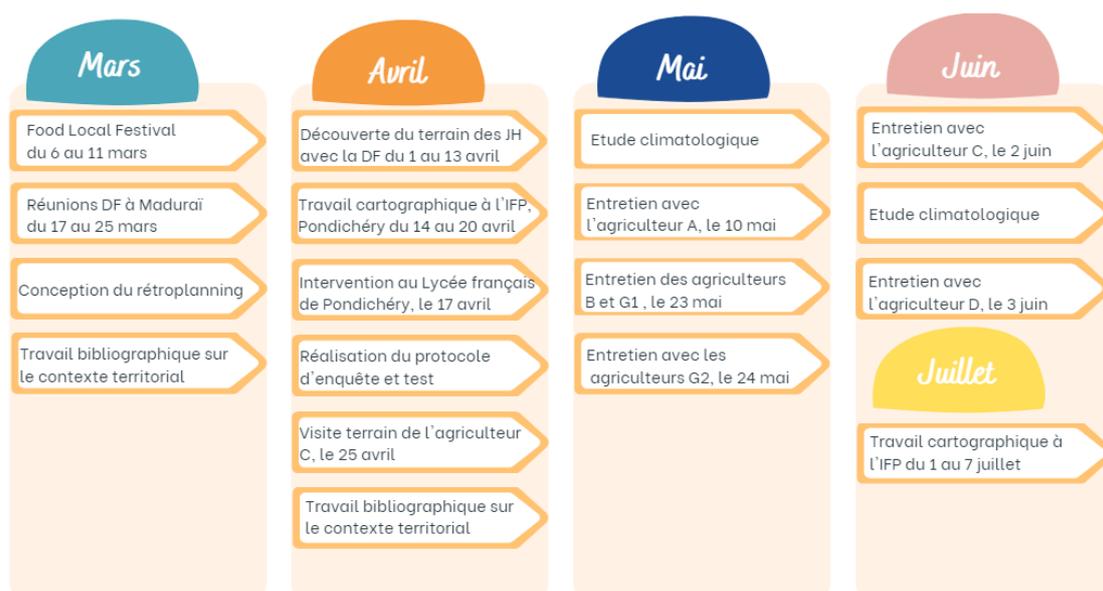


Figure 25 : Rétroplanning étude sur le changement climatique dans les Jawadhu Hills, N. Atek, 2023

La réalisation de l'étude sur le changement climatique dans les Jawadhu Hills s'est heurtée à certaines difficultés. Tout d'abord l'accès à des données que ce soit concernant le contexte territorial des Jawadhu Hills, les actions de la *DHAN Foundation* pour le changement climatique et les données climatologiques. Ces difficultés ont freiné l'avancer du travail et certains objectifs ont dû être modifié pour s'adapter à cette contrainte. De plus, la mutation des référents locaux de la DF durant l'étude a également entraîné des complications, leur disponibilité variait énormément et leur remplacement n'a pas été immédiat. Malgré le professionnalisme et la bonne volonté de leur remplaçant celui-ci ne connaissait pas le territoire et devait prendre ses marques tout en clôturant son poste dans un autre district. Un décalage a été également ressenti d'un point de vue méthodologique pour la récolte de données, la DF préférait la réalisation d'entretien de groupe alors que les besoins du programme nécessitaient la réalisation d'entretien individuel. De plus, la récolte de données déjà limitée par leur accessibilité, la qualité et leur précision ont été également diminuées par la barrière de la langue. Lors des entretiens, les échanges se faisaient de l'anglais au tamoul puis de l'anglais au français pour le traitement des données. Il s'agit donc d'une double barrière de la langue qui implique des biais dans la traduction, une reformulation des questions simplifiée et la récolte de données schématiques. Enfin, le travail dans les Jawadhu Hills s'est également confronté à la réalité du terrain des Jawadhu Hills, c'est à dire des coupures d'électricité fréquentes, des intempéries violentes et un confort de vie restreint.

Avec 71% de population actives travaillant dans l'agriculture, 89% des agriculteurs avec moins de 2 ha de superficie d'exploitation et une très large dominance de la production de millet en culture pluviale, le territoire des Jawadhu Hills présente de fort enjeux agricoles, socio-culturels et économiques. Dans un contexte de changement climatique global et de lutte contre l'insécurité alimentaire une double problématique se pose. Dans quelle mesure la renaissance du millet est un facteur de développement pour les agriculteurs des Jawadhu Hills ? Entre démocratisation d'une céréale traditionnelle et dépendance aux variabilités climatiques, comment se situent les agriculteurs des Jawadhu Hills ? Cette vulnérabilité à la fois alimentaire et climatique est-elle à nuancer en fonction des profils agricoles ?

Dans le cadre du sujet de ce mémoire qui se concentre sur l'anticipation du changement climatique des agriculteurs des JH, il est avant tout question de légitimité l'emploi de ce terme. Le changement climatique est-il observable dans les JH ou s'agit-il de variabilités climatiques inhérentes à la mousson indienne ? La mousson assurant le bon fonctionnement des systèmes agricoles et alimentaires indiens, l'étude de ses mécanismes semble primordiale pour ensuite déterminer les éventuelles formes de manifestations du changement climatique sur le régime de précipitations. Il est entendu par « manifestation climatique », la perturbation d'un système de référence observable sur une longue période. Ici le système de la mousson indienne est étudié pour les forts enjeux agricoles et hydriques qu'elle représente à l'échelle nationale. Cependant, pour un pays composé d'autant de milieux naturels que de différences culturelles, l'étude du changement climatique à travers la mousson doit se faire à des échelles plus localisées. C'est pourquoi, la partie suivante s'est concentrée sur une approche scalaire, d'abord pour caractériser les effets du changement climatique déjà observables en Inde puis à partir des tendances nationales établir des hypothèses de départ sur lesquels s'appuyer pour déterminer si ces manifestations sont transposables à l'échelle du district de Tiruvannāmalai et à celle du bloc des Jawadhu Hills.

## 2. Le changement climatique, incantation utile ou réalité effective ?

Le changement climatique est-il observable dans les Jawadhu Hills dans la mesure où la mousson est un phénomène très variable dans le temps et dans l'espace ? Cette partie tente de déterminer l'existence du changement climatique dans les JH par l'identification de manifestations climatiques liées à la mousson. Pour cela une étude scalaire est préférée, le niveau nationale servant de contextualisation aux deux autres niveaux spatiales d'étude : le district et le bloc administratif, l'analyse de données localisées étant le cœur de cette étude.

Plusieurs questionnements de départ ont guidé ce travail : quels sont les effets du changement climatique en Inde ? Existe-t-il des différences spatiotemporelles de ces manifestations climatiques ? La mousson étant primordiale pour l'agriculture indienne, toutes perturbations liées au changement climatique ou à sa variabilité influencent sa suffisance alimentaire. Pour comprendre les mécanismes de la mousson, les facteurs exogènes et endogènes à l'Inde qui participent à la variabilité de la mousson sont étudiés.

Une fois ces mécanismes identifiés, qu'en est-il des manifestations du changement climatique à l'échelle du district de Tiruvannāmalai ? Une étude climatologique est privilégiée à travers l'évolution des précipitations du district sur 70 ans. Les grandes tendances nationales sont-elles observables à l'échelle du district ? L'augmentation des événements extrêmes de sécheresse et de pluie intense est-elle observable à l'échelle du district ? Ces variations de précipitations sont-elles l'objet de tendance naturelle ou du changement climatique ? Il y a-t-il un lien entre les systèmes climatiques planétaires tels qu'ENSO et des événements extrêmes climatiques sur le district de Tiruvannāmalai ? Pour cela trois études thématiques sont menées : d'abord l'étude des épisodes de sécheresse à travers l'indice normalisé de précipitations ; l'étude des épisodes de pluies intenses à l'aide de l'évolution des précipitations maximales journalières et une étude des seuils de précipitations ; puis la comparaison d'événements extrêmes survenus pendant les années El Niño et La Niña.

Les résultats obtenus à l'échelle du district sont-ils le reflet des tendances observées des Jawadhu Hills qui est la principale zone à relief du district de Tiruvannāmalai ? Le changement climatique est-il observable dans les Jawadhu Hills ? En quoi les caractéristiques

morphologiques des Jawadhu Hills rendent complexe l'analyse du climat des JH ? Une première étude de l'évolution des précipitations a été menée à l'échelle des JH, celles-ci ont été comparées à celles du district de Tiruvannāmalai afin d'en distinguer des tendances convergentes ou divergentes. L'étude des tendances est privilégiée pour identifier les éventuelles manifestations du changement climatique dans les JH. En outre, le manque de données climatiques a conduit à une approche de terrain à partir d'observations et de recueil de témoignages sur l'existence de microclimat dans les Jawadhu Hills complexifiant encore l'étude du changement climatique.

## 2.1 Quels sont les marqueurs du changement climatique dans un pays qui connaît naturellement de grandes variabilités climatiques ?

Ce chapitre est consacré à l'étude nationale de l'évolution des phénomènes climatiques et météorologiques en Inde. À l'aide de rapports scientifiques, les manifestations du changement climatique dans le pays sont détaillées et montrent le degré de sensibilité du sous-continent indien à ces perturbations. Par ailleurs, six fois plus grande que la France, l'Inde présente autant d'écosystèmes que de diversités culturelles, le changement climatique ne peut se traduire de la même façon dans un pays aussi étendu. Il est également question de la mousson indienne et de l'origine de sa variabilité, à cette occasion les mécanismes qui l'influencent sont étudiés. Parmi eux il est compté le phénomène ENSO, son lien avec le changement climatique et le rôle qu'il joue dans la variabilité de la mousson indienne sont discutés.

### 2.1.1 L'Inde, vers une hausse des températures et une intensification des événements météorologiques extrêmes dues au changement climatique

Créé en 1988 à l'initiative du Programme des nations unies pour l'environnement et de l'Organisation météorologique mondiale, le Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC/IPCC en anglais) étudie le climat mondial (IPCC, 2015). D'abord engagé dans des travaux de synthèse scientifique de surveillance du climat, le GIEC est à présent une référence mondiale dans la réalisation de rapports détaillés à la fois sur l'état du climat, ses perspectives d'évolution et sur les mesures d'atténuation voire d'adaptation aux impacts du changement climatique des sociétés humaines. Pour rappel, le climat planétaire connaît naturellement des variabilités dues à des processus internes naturels ou à des forçages externes tels que les modulations des cycles solaires et les éruptions volcaniques. Le changement climatique tel que l'entend le GIEC est déterminé par une variation de l'état du climat qui persiste pendant une longue période. Même si l'usage du singulier est communément privilégié pour décrire le phénomène global, l'emploi du pluriel est scientifiquement plus juste car le changement

climatique est un emboîtement de plusieurs changements d'ordre climatique. Ainsi la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques les définit comme des « changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables » (IPCC, 2013). Le 27 février 2022 le GIEC a finalisé la deuxième partie de son sixième rapport sur le changement climatique, *Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation, Vulnerability*, dans lequel il fait état des dernières observations climatiques par thématique et par région, ici les résultats du Chapitre 10 consacré à l'Asie sont résumés.

En 2019, 30% du total des migrations mondiales sont dues à des catastrophes météorologiques telles que les cyclones, les typhons et les inondations survenues en Asie du Sud-Est et de l'Est, soit 9,6 millions de personnes affectées. Les tendances indiquent une augmentation de l'intensité et de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes en Asie. Les événements climatiques extrêmes sont définis comme « un schéma de conditions météorologiques extrêmes qui persiste pendant un certain temps, comme une saison ». Ce phénomène s'accompagne d'une plus grande variabilité des pluies de mousson, observable à l'échelle inter-saisonnière, interannuelle et spatiale. Le changement le plus perceptible dans les tendances climatiques en Asie est l'augmentation de la température de l'air en surface et de la température nocturne, en particulier pendant l'hiver. En effet, au cours du siècle dernier, et dans la majeure partie de l'Asie, des tendances au réchauffement et une augmentation des températures extrêmes ont été observées. En parallèle, l'élévation du niveau de la mer et l'érosion côtière pourraient s'accroître ainsi que les risques d'inondation à grande échelle dans les zones à faible altitude notamment en Asie du Sud, du Sud-Est et de l'Est (IPCC, 2022).

Pour ce qui est de l'Inde, le GIEC propose quelques éléments d'observation générale : entre 1941 et 2015 est constatée une augmentation des vagues de chaleur à cause de la hausse des températures ; entre 1901 et 2010 les phénomènes de précipitations intenses dans les zones urbaines sont plus fréquents tout comme les épisodes de sécheresse ; un nombre croissant d'inondations au niveau des côtes urbanisées est également identifié (IPCC, 2022). Cependant l'impact du changement climatique en Inde est à nuancer, pour rappel l'Inde est le septième pays le plus grand du monde et le deuxième pays le plus étendu du continent asiatique après la Chine, avec une superficie de 3 millions de km<sup>2</sup> (Atlasocio, 2022). L'Inde

abrite cinq biomes qui marquent les différences régionales et intrarégionales en Inde : la toundra Himalayenne ; les forêts tropicales de broussailles ; les forêts tropicales sèches ; les déserts tropicaux ; les forêts tropicales humides, divisées en trois catégories sur la figure 26 selon leur degré d'humidité (Chakraborty *et alii*, 2013).

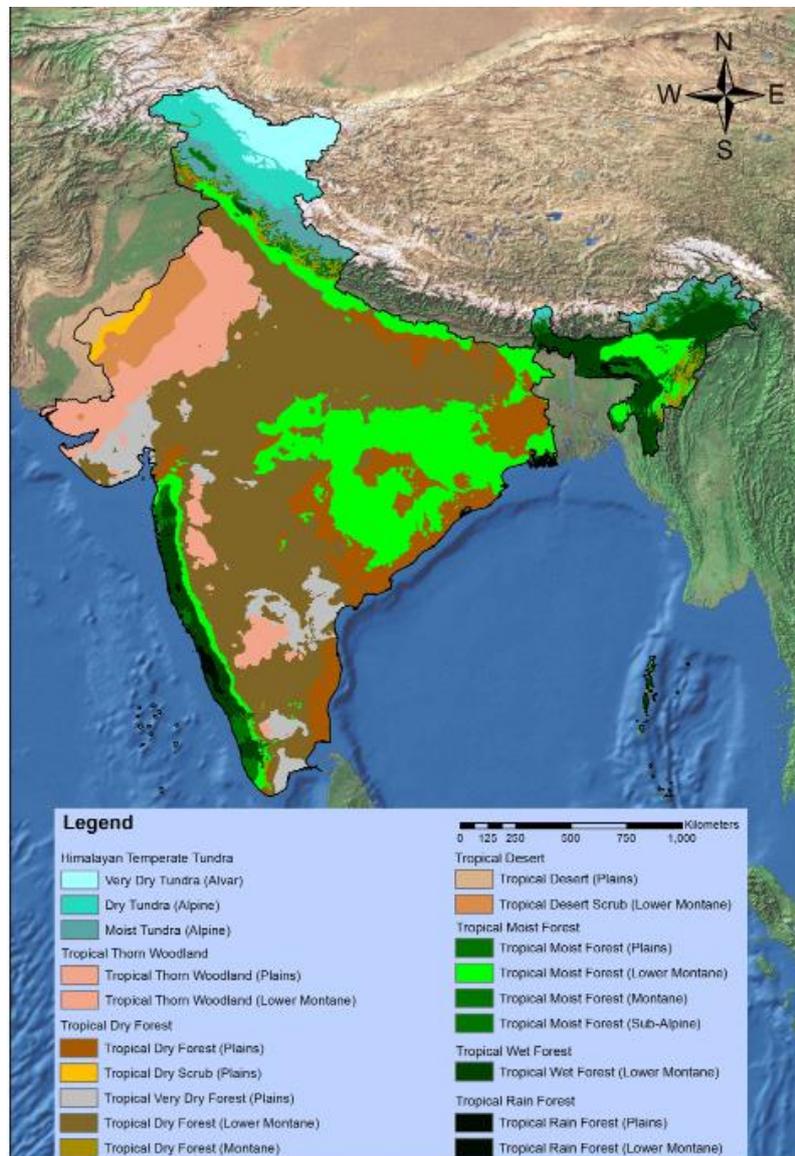


Figure 26 : Biomes de l'Inde, source : Chakraborty *et alii*, 2013

Par sa diversité géographique, l'impact du changement climatique est donc différent selon les régions. Par exemple, à l'échelle nationale la température de l'air a augmenté de 0,7°C entre 1901 et 2018 (Srivastava *et alii* 2019, cité par Krishnan *et alii* 2020) cependant la figure 27 montre les différences spatiales d'évolution de la température moyenne, de la température maximale et de la température minimale entre 1986 et 2015 selon des plages temporelles annuelles et saisonnières. La première colonne se réfère aux températures annuelles, la

seconde correspond à l'hiver (décembre à février), ensuite il s'agit de la période de pré-mousson (mars à mai), la troisième colonne est la mousson d'été (juin à septembre) et la dernière colonne est la saison post-mousson (octobre à novembre). Les zones quadrillées représentent des tendances d'évolution des températures non significatives. La figure 27 montre la différence spatio-temporelle de l'évolution des températures : dans neuf modèles sur douze le Nord et le Centre de l'Inde ont tendance à davantage se réchauffer par rapport au reste du pays comprenant ainsi la chaîne Himalayenne, le désert du Thar et les forêts tropicales sèches et humides des basses montagnes du centre.

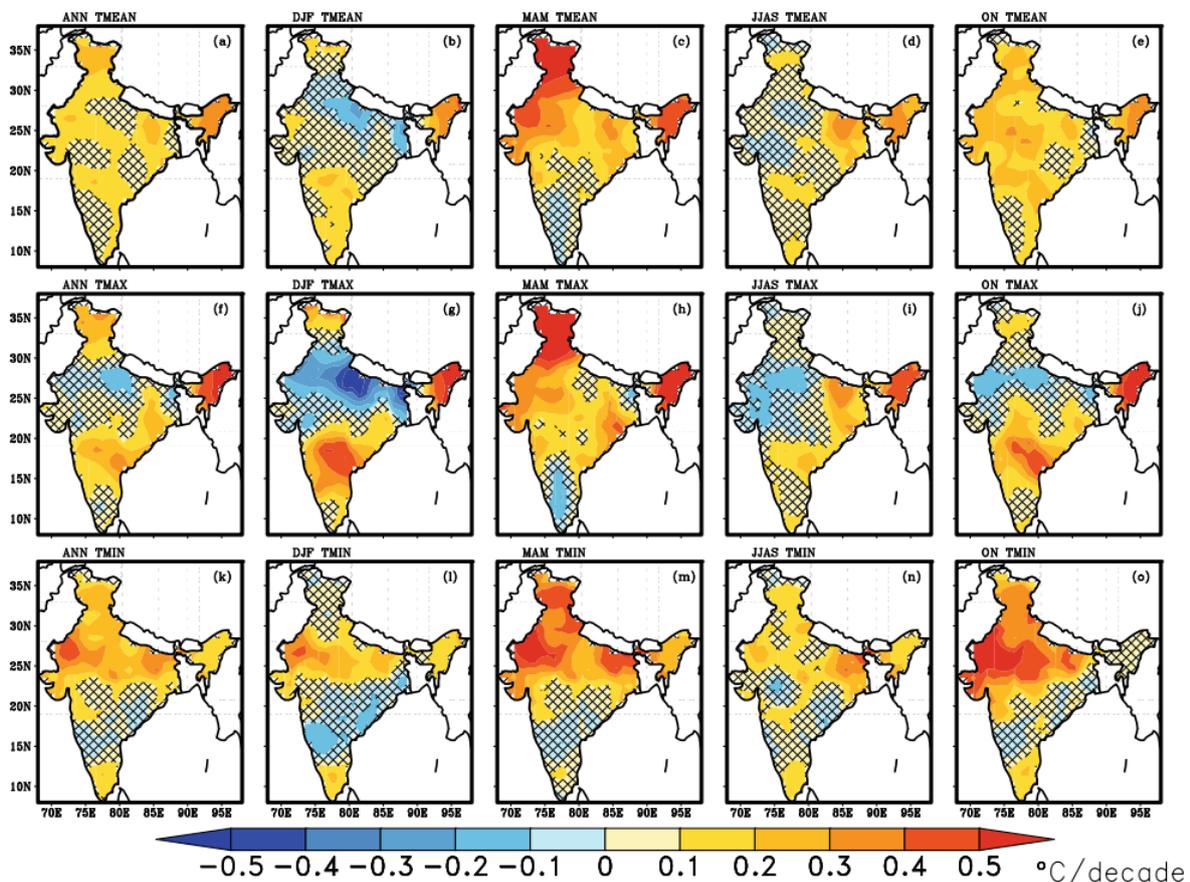


Figure 27 : Évolution des températures moyennes, maximales et minimales de l'air en Inde entre 1986 et 2015, source : Krishnan et alii, 2020

La mousson indienne a une tendance à la diminution des précipitations dans les Ghâts occidentaux et les plaines indo-gangétiques (Krishnan et al. 2013 ; Roxy et al. 2015 cités par Krishnan et alii, 2020). *A contrario*, il a été observé une augmentation de la mousson dans le Centre, le Sud-Est et l'extrême Nord-Est de l'Inde dans la région de Kashmir. La figure 28

montre l'évolution des précipitations journalières entre 1951 et 2015 durant la mousson du sud-ouest et la mousson du nord-est, selon les données du Département indien de météorologie qui marque ces tendances.

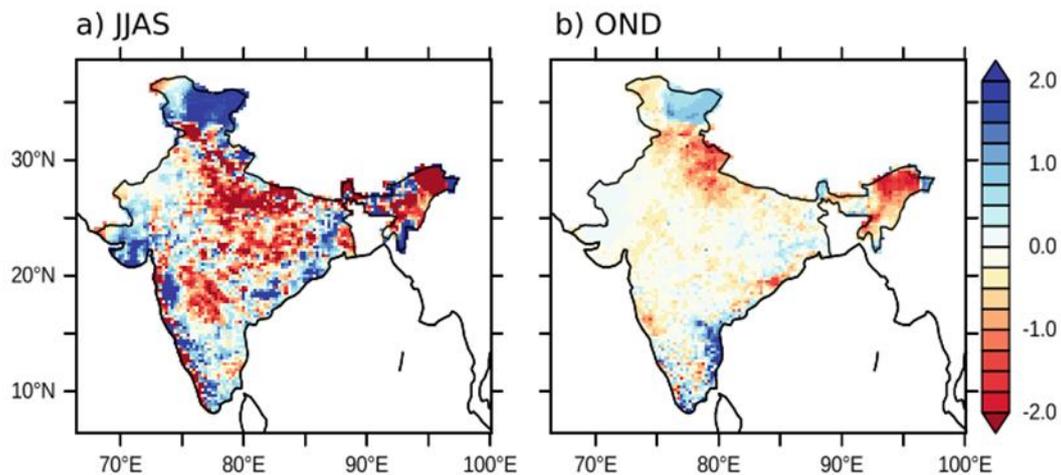


Figure 28 : Évolution des précipitations (mm/jour) pendant les moussons de 1951 à 2015, source : IMD utilisé par Krishnan et alii, 2020

Les événements de sécheresse et de fortes pluies sont inhérents à la mousson indienne. Durant la mousson du sud-ouest, il a été observé une tendance à l'augmentation des épisodes de sécheresse entre 1951 et 2016 dans les zones humides du Centre de l'Inde, sur quelques régions du Nord-Est de l'Inde et au niveau de la côte Est. Les zones touchées par les sécheresses s'étendent au sud de l'Inde et au niveau des plaines indo-gangétiques, l'intensité et la durée de ces épisodes sont également en augmentation. Durant la mousson du nord-est, le Kerala, le Centre de l'Inde et quelques régions du Sud de l'Inde connaissent également un plus grand nombre d'événements de sécheresse par an (1951-2016). Les inondations sont souvent liées à des épisodes de précipitations intenses. Il existe différentes catégories d'inondation : les inondations fluviales (précipitations extrêmes sur de longues périodes), les inondations éclairs (fortes précipitations dans les villes ou sur les pentes abruptes), les inondations urbaines (dues à une absence de drainage), les inondations côtières (causées par des tempêtes) et les inondations pluviales (précipitations sur une surface plane). Elles ont lieu généralement lors de la mousson du sud-ouest et pendant la mousson du nord-est pour les États du Sud de l'Inde. Les villes qui ont été les plus touchées par des inondations sont

Mumbai, Bangalore, Chennai, Ahmadabad et Kolkata. Les villes côtières, comme Chennai, située dans le Tamil Nadu, sont particulièrement sensibles aux inondations dues aux cyclones. À noter que le nombre de cyclones classés comme très sévères est en augmentation dans le Golfe du Bengale entre 2000 et 2018 durant la mousson du nord-est. La fréquence des cyclones très sévères est elle aussi en augmentation dans la Mer d'Arabie durant la saison post-mousson entre 1998 et 2018 (Krishnan *et alii*, 2020). L'actualité indienne illustre ce propos avec le cyclone très sévère *Biparjoy* qui a touché les côtes Ouest de l'Inde en juin 2023. L'augmentation du niveau de la mer concerne également les côtes indiennes, le niveau de la mer a augmenté de 1,7mm par an entre 1880 et 2009 (Church and White 2011, cités par Krishan *et alii*, 2020). Les bassins versants des principales rivières de l'Inde sont eux aussi sensibles aux inondations, notamment dans le Centre de l'Inde où se trouve le bassin du Gange, de Narmada-Tapi et de Godavari. Entre 1951 et 2014, le nombre d'inondations survenues dans ces bassins hydrologiques a augmenté. L'augmentation des taux de fonte des glaciers et de la neige accroît le débit des cours d'eau et joue un rôle dans le risque d'inondation des bassins fluviaux de l'Himalaya (Krishnan *et alii*, 2020).

Ces résultats montrent que les manifestations du changement climatique diffèrent à la fois de manière temporelle et spatiale. *A priori* il n'existe pas de corrélation entre l'évolution des températures et des précipitations (Landy, 2022). Cependant, la mousson apparaît comme le chef d'orchestre d'un certain nombre d'événements extrêmes climatiques qui ont lieu en Inde : en juillet et août 2023 les pluies torrentielles ont provoqué des inondations et des glissements de terrain qui ont fait plus de 155 morts dans le pays ; durant le mois d'août la rivière Yamuna, qui traverse la capitale nationale New Delhi, a enregistré ses niveaux les plus élevés depuis 1978 (Le Monde, 2023). Comprendre le rôle du changement climatique dans son fonctionnement suppose donc d'en étudier les mécanismes et les systèmes qui la régissent.

## 2.1.2 La mousson indienne et ses variabilités, entre changement climatique et interactions air-mer/air-terre

Le terme mousson vient de l'arabe *mawsim* qui signifie « saison », elle tient son origine des marins arabes qui subissaient les vents de l'est puis de l'ouest dans l'Océan indien de manière saisonnière (Fauquembergue et Verbeke, 2017). La mousson indienne se caractérise par une « circulation de l'ouest plus ou moins généralisée dans les basses couches de la zone de convergence intertropicale, en relation avec le décalage latitudinal entre l'équateur géographique et l'équateur météorologique dû à la déviation de l'alizé de l'est par la force de Coriolis<sup>13</sup> » figures 3 et 4 de la partie 1.1.1 (Godard et Tabeaud, 2009). La mousson indienne est un phénomène complexe qui est le produit de forçages interne et externe qui impliquent des interactions entre l'atmosphère, l'océan et la terre. Elle connaît de grandes variabilités spatio-temporelles à l'échelle journalière, intra-saisonnière, inter-saisonnière, annuelle, décennale et séculaire. Par exemple, le pic journalier de précipitations diffère selon les régions : dans le Centre de l'Inde il survient plutôt en fin d'après-midi ; pour les zones de haute altitude comme l'Himalaya ça sera tôt le matin et au niveau de la Baie du Bengale, il aura lieu dans la matinée. Toutefois, même si l'Inde connaît d'importantes variabilités spatio-temporelles dans son régime de précipitations, des normales de précipitations nationales sont définies (tableau 5) à partir desquelles les travaux s'appuient pour étudier les phénomènes de variabilité.

Saison	Mois	Pourcentage de distribution par rapport aux précipitations annuelles (%)
Pré-mousson	mars - mai	10,4
Mousson du sud-ouest	juin - septembre	73,4
Post mousson / Mousson du nord-est en fonction de la localisation	octobre - novembre	13,3
Pluies d'hiver	janvier - février	2,9

Tableau 5 : Calendrier de la distribution des pluies en Inde. N. Atek, Université d'Orléans, 2023, source : Indian Meteorological Department, 2023

<sup>13</sup> Force centrifuge liée à la rotation de la terre sur elle-même (Godard et Tabeaud, 2009).

L'étude généralisée de sa variabilité est assez récente puisque le premier programme de recherche sur la mousson indienne est lancé en 1995 et se concentre sur l'étude de la variabilité de la mousson à des échelles sous-saisonniers, intra-saisonniers et plus longues afin de comprendre les systèmes de convection et les interactions entre air-mer et terre-air (Gadgil, 2003). L'ensemble de l'Inde est concerné par la mousson du sud-ouest, cependant la mousson du nord-est ne touche que les États du Tamil Nadu, du Karnataka et du Kerala, c'est pourquoi la plupart des études sur la mousson se concentrent seulement sur la mousson du sud-ouest dite mousson d'été. Il existe de multiples études climatologiques sur la question de la mousson et de sa variabilité, son analyse demande comme toute étude climatologique des données fiables sur une amplitude d'au moins 30 ans. Pour cette partie, l'objectif est de résumer les grands mécanismes qui influencent la variabilité de la mousson afin de comprendre les impacts du changement climatique sur celle-ci, il ne s'agit donc pas d'une étude exhaustive climatologique sur la mousson indienne, les auteurs cités dans cette partie proposent des études détaillées sur le sujet.

Le principe de variabilité de la mousson se définit par l'alternance entre une période active et une période faible, soit des fluctuations entre des épisodes de pluies (active) et des épisodes de sécheresse (faible). Le terme de « pause » est souvent utilisé pour signifier une période de sécheresse plus longue qu'une période dite faible, sa définition exacte varie en fonction des chercheurs (Gadgil, 2003). À l'échelle interannuelle le pourcentage de variabilité est de 10% par rapport à la moyenne des précipitations annuelles en Inde. Ici deux types de facteurs de variabilité seront différenciés : les facteurs liés aux systèmes localisés au niveau du sous-continent indien, des océans et des mers qui dépendent des caractéristiques telles que le relief ou la température ; les facteurs observés à une échelle synoptique voire planétaire.

La variation de la mousson d'été peut d'abord s'expliquer par des changements de pression atmosphérique, communément les basses pressions atmosphériques favorisent l'évaporation de l'eau des océans propice à la formation de nuages chargés en humidité, à l'inverse les zones de haute pression ont une faible capacité d'évaporation et sont donc peu enclines à la formation de nuages humides. Lors du début de la mousson d'été, une dépression thermique s'opère en provenance du sud-ouest, ce phénomène est couplé avec celui d'un déplacement ascendant de l'air qui est appelé convection. Cette dépression thermique avec

d'importants phénomènes de convection est à l'origine de fortes précipitations lors de la mousson en Inde (Gadgil, 2003). Cependant ce système fluctue, d'une part car le flux de mousson s'affaiblit d'est en ouest, ce qui explique que le Nord-Ouest de l'Inde reçoit moins de précipitations (figure 29), d'autre part il est admis qu'il y a des différences spatiales de convection. Par exemple la Baie du Bengale connaît d'importants systèmes convectifs, avec des convections humides qui conduisent à la formation de nuages très chargés en humidité. C'est pourquoi la côte du Golfe du Bengale connaît plus de précipitations que le Nord-Ouest du pays. Ce flux dépressionnaire est nommé talweg de mousson, il est caractérisé par la formation d'une ligne de points ayant la même pression (Godard et Tabeaud, 2009). Ces systèmes de dépression thermique sont variables dans l'espace et dans le temps et dépendent de plusieurs facteurs dont la différence de température entre l'eau et l'air ou la terre et l'air. Bien sûr ces fluctuations sont elles-mêmes influencées par des dynamiques atmosphériques et thermiques de plus grande ampleur. Ces éléments proposent une première réponse à la variabilité de la mousson.

La topographie indienne joue également un rôle dans la variabilité spatiale de la mousson indienne. Les reliefs abaissent la température de l'air et favorisent les phénomènes d'ascendance forcée qui eux augmentent la fréquence et l'intensité des précipitations en montagne (Godard et Tabeaud, 2009). C'est pourquoi les Ghâts Occidentaux et Orientaux situés sur les côtes Ouest et Est indiennes reçoivent plus de précipitations que le plateau de Deccan situé au centre du pays. De plus, les deux Ghâts bénéficient des vents pluvieux de la Mer d'Arabie à l'ouest et du Golfe du Bengale à l'est.

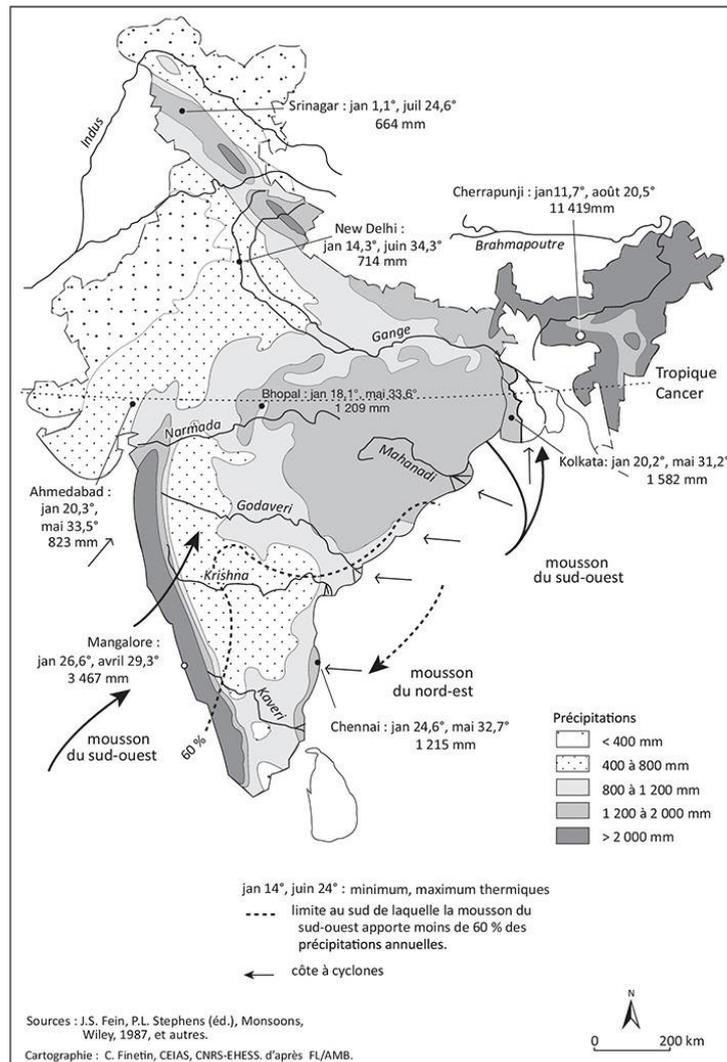


Figure 29 : Répartition de la mousson indienne, source : Landy et Varrel, 2015

La mousson dépend également de phénomènes de plus grande échelle, c'est à dire synoptique voire planétaire, ici appelés forçages externes. Deux phénomènes sont retenus : le Dipôle de l'Océan Indien (IOD) et l'El Niño-Oscillation Australe (ENSO). L'IOD se caractérise par un déplacement des eaux chaudes de surface dans l'Océan Indien qui a lieu chaque année. Il se manifeste en trois phases : positive, neutre et négative qui chacune se produit tous les trois à cinq ans. Le déplacement de ces eaux commence en général en automne et se termine au printemps (Service météorologique d'Australie, 2016). Durant la phase neutre les eaux chaudes de surface à l'est de l'Océan Indien se déplacent vers l'ouest et s'arrêtent à mi-chemin. La phase positive est caractérisée par de fort alizés venant de l'est qui poussent les eaux chaudes de surface à l'ouest jusqu'aux côtes est-africaines. Ce déplacement provoque un

phénomène d'upwelling au niveau des côtes indonésiennes, les basses pressions se concentrent alors à l'ouest de l'Océan où la création de nuages chargés d'humidité est favorisée par l'évaporation de l'eau de l'Océan (Sengupta, 2020). À l'inverse, les hautes pressions de l'est ne permettent pas la formation de nuages humides. La phase négative est le phénomène opposé de la phase positive, où les eaux chaudes se concentrent à l'est et les eaux froides à l'ouest de l'Océan Indien comme l'illustre la figure 30. Selon la figure 30, durant la phase positive de l'IOD l'Inde est plus susceptible de recevoir des pluies que durant la phase négative.

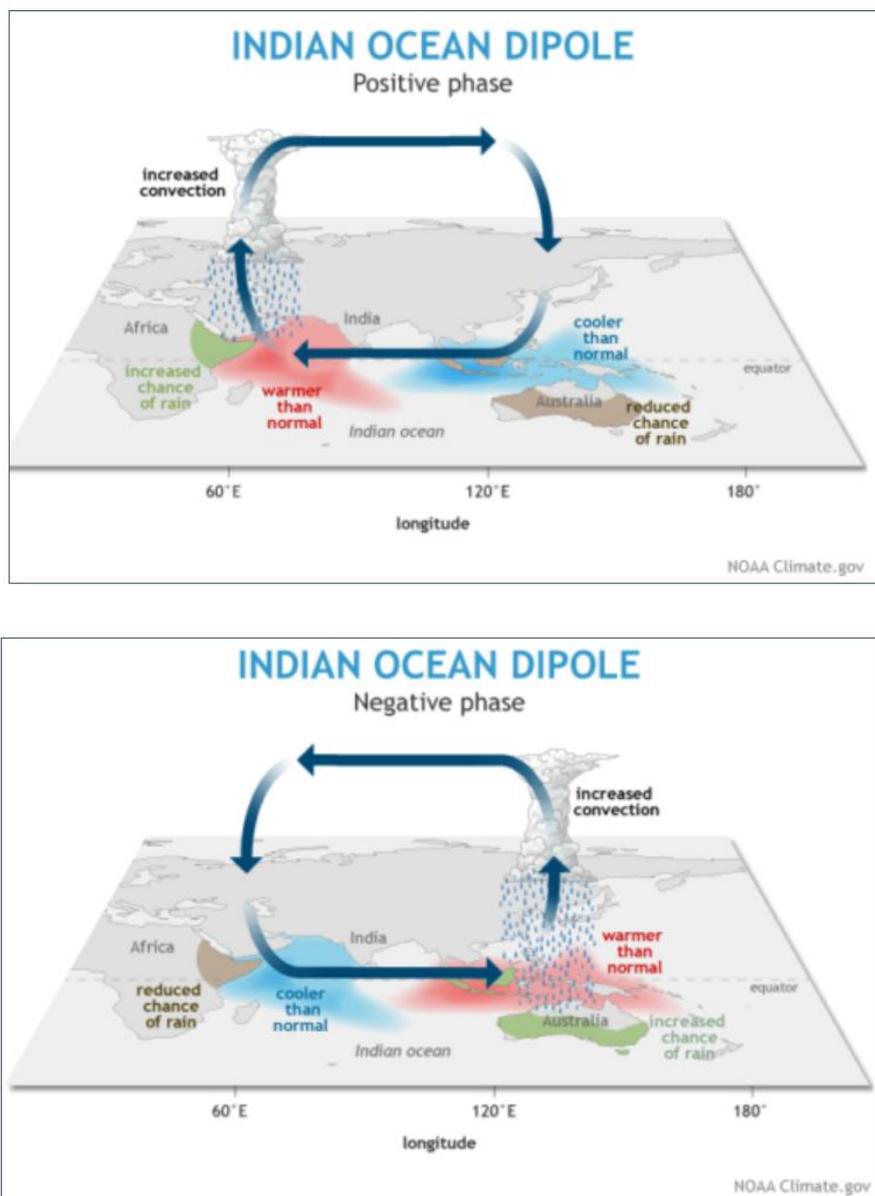


Figure 30 : Mécanisme du Dipôle de l'Océan indien, source : NOAA, 2021

Une étude a été menée pour comprendre la relation entre l'IOD et la mousson indienne, sur les 11 événements de mousson excédentaire identifiés entre 1958 et 1997, 8 événements (1961, 1963, 1967, 1977, 1983, 1994, 1993 et 1997) correspondent à une situation positive de l'IOD soit 73 % des événements de cette période. En ce qui concerne les situations négatives d'IOD, trois sont survenues sur la période étudiée, deux événements correspondent à des anomalies négatives de la mousson d'été indienne, en 1958 et en 1997. Ainsi la variabilité annuelle de la mousson est influencée par l'amplitude des vents d'est et d'ouest (Ashok, 2001).

Pour l'ENSO, le même rapport de causalité peut être observé. En effet, l'ENSO est un phénomène naturel qui se caractérise par des fluctuations de la température océanique dans le Centre et l'Est du Pacifique équatorial, associées à des variations de l'atmosphère. Il est décomposé en trois phases: El Niño, La Niña et des conditions neutres. El Niño et La Niña sont les phénomènes opposés extrêmes de l'ENSO. Dans le cadre de conditions normales du phénomène d'ENSO, la thermocline remonte à l'est du Pacifique équatorial. Les côtes latino-américaines connaissent alors le phénomène d'upwelling. Les alizés partant de l'est du Pacifique poussent les eaux chaudes de surface en direction de l'ouest, vers l'Australie qui participent à la formation de précipitations sur l'océan Pacifique Ouest. Le phénomène El Niño est lui caractérisé par des alizés faibles venant de l'est ne permettant pas l'effet upwelling, les eaux de surface au centre et à l'est du Pacifique se réchauffent (figure 31). La circulation atmosphérique tropicale est également modifiée, provoquant des sécheresses à l'ouest du Pacifique. Le phénomène El Niño se produit tous les deux à sept ans et peut durer jusqu'à 18 mois. Quant aux manifestations de La Niña, il s'agit du phénomène opposé à celui d'El Niño : les eaux de surface se refroidissent à grande échelle à l'est du Pacifique avec le phénomène d'upwelling et de forts alizés en direction de l'ouest provoquent de fortes précipitations à l'ouest du Pacifique et des sécheresses en Amérique Latine (Organisation Météorologique Mondiale, 2014). Les épisodes El Niño comme ceux de La Niña, ces phénomènes sont irréguliers et peuvent être pluriannuels, leurs conséquences sont donc multiples. Il est généralement admis que les épisodes d'El Niño provoquent des incendies en Inde et que les phases de la Niña entraînent à l'inverse des pluies diluviennes (Garric, 2023). Plusieurs études dont celles de la climatologue et météorologue indienne Sulochana Gadgil montrent une corrélation entre les épisodes d'El Niño et des anomalies négatives de plus de 10% par rapport

à la moyenne annuelle la mousson indienne voir figure 32. Tout comme l'IOD, les fluctuations d'ENSO influencent la variabilité interannuelle de la mousson indienne.

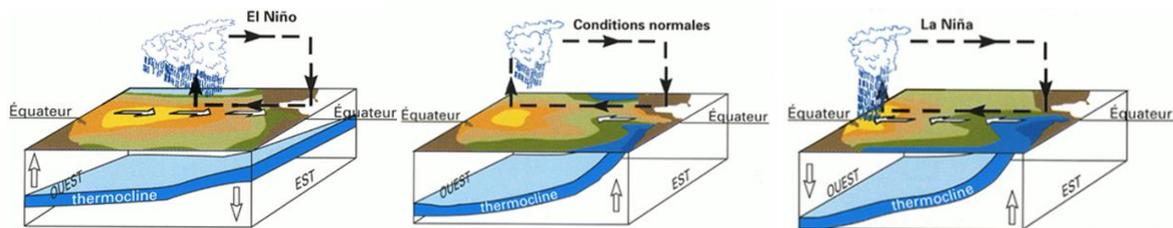


Figure 31 : Schéma fonctionnement de l'ENSO, source : Merles, 2006

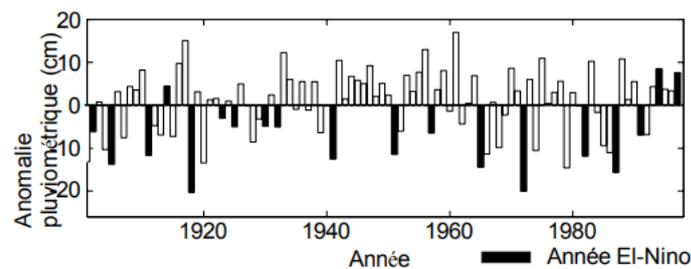


Figure 32 : Corrélation entre anomalies pluviométriques de la mousson indienne et épisodes d'El Niño, source : Gadgil, 2003

Par conséquent, quelle est la place du changement climatique dans ces variations ? Les éléments énoncés précédemment montrent que la variabilité de la mousson est sensible aux vents, à la pression atmosphérique et aux températures. La partie 2.1.1 établit que l'une des conséquences du changement climatique en Inde est l'augmentation des températures. Il existe un large consensus scientifique qui prévoit une augmentation des précipitations durant la mousson indienne. En effet, cette tendance correspond au réchauffement de l'Océan Indien qui provoque une augmentation de la teneur en humidité atmosphérique et donc la convergence des flux d'humidité (Cherchi et al., 2011 ; Seth et al., 2013 ; Mei et al., 2015 ; Sooraj et al., 2015 ; D'Agostino et al., 2019, cités par Katzenberger, 2021). La quantité de précipitations sur l'Inde devrait augmenter de 18,7 % d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle par rapport à 1961–1999 (Chaturvedi et al., 2012, cité par Katzenberger, 2021). Selon une étude de 32 modèles des précipitations lors de la mousson, les régions qui devraient connaître une plus

forte augmentation sont l'Himalaya, le Nord-Est du Golfe du Bengale et la côte Ouest de l'Inde. En outre, le changement climatique devrait provoquer une augmentation de la quantité de mousson d'été, une augmentation de la variabilité interannuelle de la mousson et provoquer l'accroissement du nombre d'événements de pluies extrêmes (Turner et Slingo, 2009 ; Sharmila et al., 2015, cités par Katzenberger, 2021).

### 2.1.3 L'ENSO et le changement climatique : vers une intensification des phénomènes extrêmes et leurs répercussions sur la mousson indienne

La partie précédente, consacrée au lien qui existe entre le phénomène ENSO et la mousson indienne, met en avant l'augmentation des précipitations, de la variabilité de la mousson et des événements de pluies diluviennes en Inde en réponse au changement climatique. Pour compléter ces éléments, il est intéressant d'étudier l'évolution du phénomène ENSO au regard du changement climatique, qui influencera le devenir de la mousson indienne.

Depuis 1950, les phénomènes ENSO sont répertoriés et étudiés, l'Index Océanique Niño (ION) a été créé par la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) des Etats-Unis afin de surveiller et catégoriser la partie océanique du phénomène climatique saisonnier ENSO. La partie atmosphérique est surveillée à l'aide de l'indice d'oscillation australe. Le principe de l'ION repose sur le suivi des températures de la surface de l'eau dans le Pacifique tropical Centre-Est au niveau de Niño 3.4 de la figure 33. Si les températures de surface de l'eau sont supérieures de 0,5°C par rapport à la moyenne durant 3 mois consécutifs il s'agit d'un phénomène El Niño et si elles sont inférieures de 0,5°C durant trois mois consécutifs il s'agit d'un phénomène La Niña ou anti-ENSO. Pour obtenir l'ION, la NOAA calcule la température moyenne de la surface de la mer dans la zone Niño 3.4 à l'aide de capteurs de type flotteurs et bouées et font la moyenne de toutes ces données pour avoir la température moyenne mensuelle qu'ils croisent ensuite avec la moyenne du mois précédant et suivant afin d'obtenir un résultat représentatif des trois mois. Ce résultat est ensuite comparé à une moyenne de trente ans, la différence obtenue constitue l'ION. Un épisode d'El Niño ou de La Niña est ensuite catégorisé parmi quatre classes en fonction de son ION pendant 3 mois

consécutifs. Les classes vont d'un événement faible à très fort, jusqu'à présent il n'y a eu que des épisodes El Niño classés comme « très forts » (Lindsey et Di Liberto, 2009) :

- Faible : de 0,5 à 0,9°C / -0,5 à -0,9°C ;
- Modéré : de 1 à 1,4°C / - 1 à -1,4°C ;
- Fort : de 1,5 à 1,9°C / -1,5 à -1,9°C ;
- Très fort : supérieur à 2°C / inférieur à 2°C.<sup>14</sup>

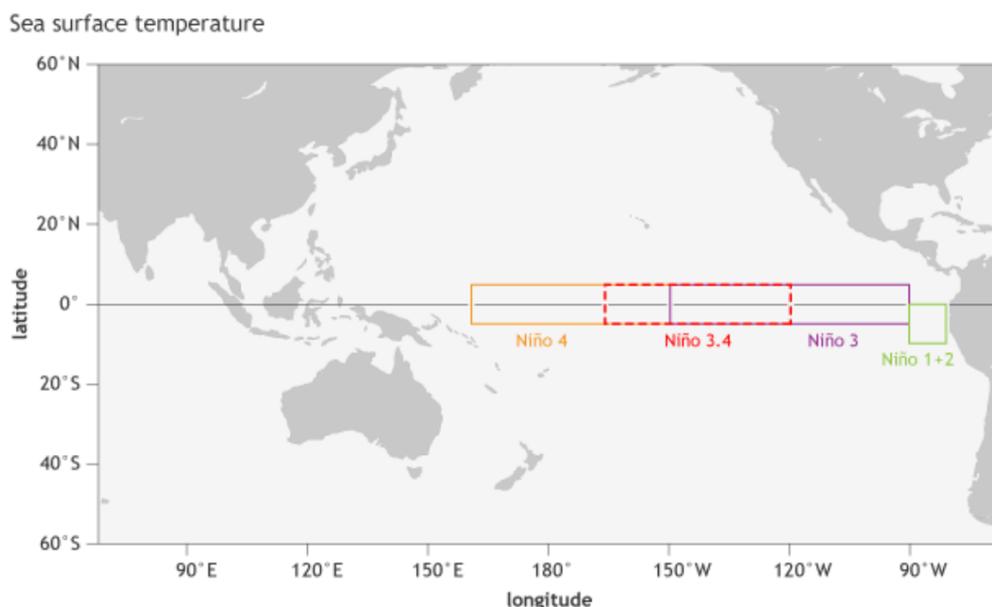


Figure 33 : Parties du Pacifique tropical utilisées pour surveiller la température de l'eau de surface, source : Martin, NOAA

La figure 34 montre les fluctuations des épisodes d'ENSO entre 1950 et 2000, ici ce n'est pas l'ION qui est représenté mais l'écart de la température des eaux de surface par rapport à la température moyenne dans la région équatoriale orientale du Pacifique. Les épisodes d'El Niño sont en rouge et de La Niña en bleu. Cette figure met en avant deux constats : d'abord le phénomène météorologique ENSO est soumis à une grande variabilité d'une année à l'autre, aucune année ne se ressemble. Ensuite, les épisodes d'El Niño compris entre les années 1980 et 2000 sont à la fois plus forts et plus nombreux sur ces 50 années. En

<sup>14</sup> annexe 2 : Événements El Niño et La Niña selon leur intensité sur des périodes de trois mois, p208-210.

effet, les années connaissant des épisodes classés comme très forts selon l'ION ont eu lieu en 1982-1983 ; 1997-1998 et 2015-2016 (Merles, 2006). Ces années correspondent à la période de trente ans qui connaît la plus haute hausse de température des eaux de surface dans la zone Niño 3.4 visible en vert sur la figure 35. Par ailleurs, la figure 35 montre l'augmentation de la température moyenne des eaux de surface passant d'environ 27,5°C entre 1936-1965 à 27,9°C en 1991-2021 (NOOA, 2017).

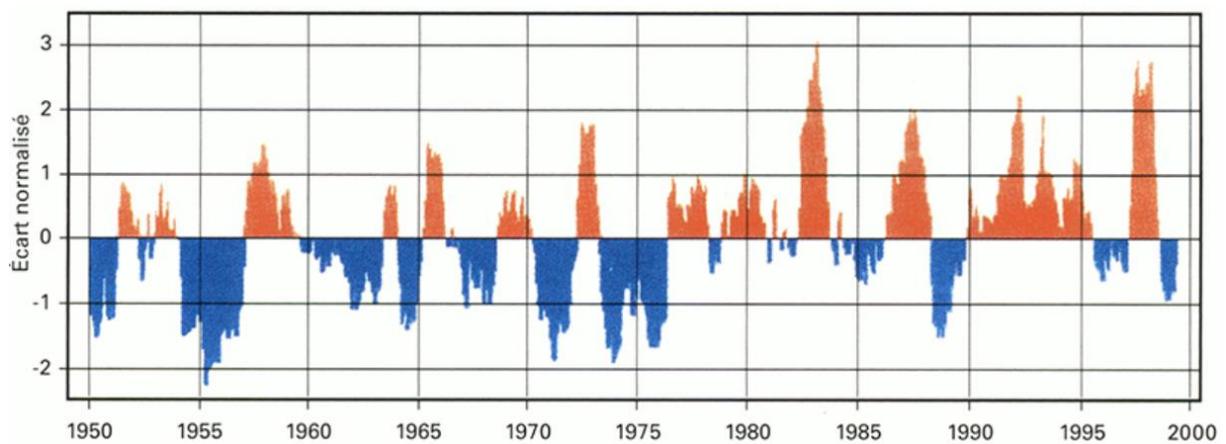


Figure 34 : Variation des épisodes ENSO entre 1950 et 2000, source : OMM cité par Merles, 2006

Ainsi, les événements d'El Niño sont généralement associés à des anomalies négatives de la mousson indienne et les événements de La Niña à des anomalies positives. Cependant les travaux de Krishna Kumar *et alii* menés en 1999 et en 2006 ont montré que les relations entre la mousson indienne et ENSO n'étaient pas automatiques. En effet, pour appuyer leurs travaux Tom Di Liberto, en charge du bureau de la communication à la NOAA a étudié la corrélation des épisodes extrêmes d'ENSO avec les précipitations totales par année entre 1950 et 2012. Il souligne que tous les épisodes El Niño ne sont pas forcément accompagnés d'une anomalie négative lors de la mousson et vice versa pour les épisodes de La Niña. Par exemple, l'El Niño le plus fort du XXe siècle, 1997-1998 n'a entraîné aucune sécheresse, les précipitations sont mêmes supérieures à la moyenne nationale alors que l'un des épisodes de pluies les plus sec qu'a connu l'Inde en 2002 correspond à un El Niño faible à modéré (Di Liberto, 2014). Les conséquences d'ENSO sur la mousson indienne sont donc très variables tout comme le phénomène d'ENSO en lui-même. Cette variabilité rend plus complexe la prévision et la compréhension de l'ENSO dans un contexte de changement climatique.

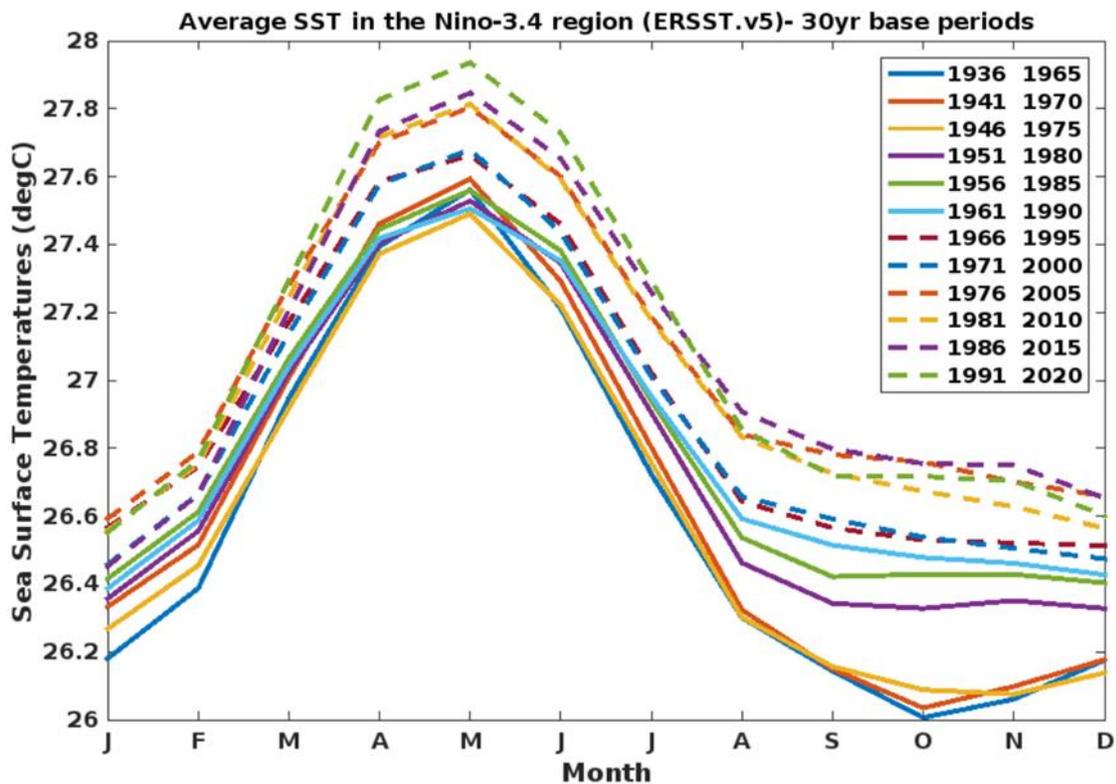


Figure 35 : Évolution de la température moyenne de la surface de l'eau sur des périodes de 30 ans, source : NOAA, 2017

Le rapprochement entre l'augmentation des températures des océans à cause du changement climatique et l'augmentation de la température des eaux de surface dans la zone Niño 3.4 peut être supposé par simple analyse graphique de la figure 35, cependant la plus récente référence scientifique en matière d'analyse fine d'ENSO est l'étude «El Niño Southern Oscillation in a Changing Climate » publiée le 2 novembre 2020. Cet ouvrage réunit le travail de 98 auteurs de 58 institutions de recherche dans 16 pays, les auteurs soulignent la complexité du phénomène d'ENSO et de son évolution face au changement climatique mais suggèrent quelques éléments de réponse. Entre autres les événements La Niña et El Niño devraient être accompagnés d'un déplacement profond des précipitations extrêmes, à l'est le long de l'équateur dans l'océan Pacifique pendant les événements El Niño et vers l'ouest pendant les événements extrêmes La Niña. « Les événements extrêmes El Niño et La Niña pourraient augmenter en fréquence d'environ un tous les 20 ans à un tous les 10 ans d'ici la fin du XXIe siècle dans des scénarios agressifs d'émissions de gaz à effet de serre », « les événements les plus forts peuvent également devenir encore plus forts qu'ils ne le sont aujourd'hui » a déclaré Michael McPhaden, scientifique principal au *Pacific Marine Environmental Laboratory* de la NOAA à Seattle et co-auteur du livre. Ainsi, les auteurs

s'accordent à dire que les sécheresses lors d'El Niño devrait être plus importantes en Inde, en Indonésie et en Australie et les épisodes de pluies extrêmes plus fréquents dans la situation inverse (NOAA, 2020).

En attendant, le mois de juin 2023 marque le début d'un nouvel épisode El Niño après trois années consécutives de la Niña, un événement assez rare. Il y a 84 % de chances d'un événement modéré et 56 % de chances d'un événement fort. El Niño devrait se renforcer progressivement dans l'hémisphère Nord durant l'automne pour arriver à son intensité maximale en hiver 2023-24 (NOAA, 2023).

L'étude des impacts du changement climatique à l'échelle nationale sur les phénomènes qui influencent la mousson est pertinente pour comprendre les mécanismes de fonctionnement qui expliquent les variabilités spatio-temporelles de la mousson. À l'image de la mousson indienne, les impacts du changement climatique diffèrent selon les caractères géophysiques des territoires et les activités humaines. Par ailleurs, cette pluralité des manifestations du changement climatique additionnée à tout autant d'écosystèmes localisés eux-mêmes dépendant de phénomènes climatiques supranationaux exacerbent la variabilité à la fois spatiale et temporelle de la mousson indienne. Ainsi, pour comprendre son évolution, l'étude de la mousson à une échelle spatiale plus localisée trouve tout son intérêt.

## 2.2 L'étude des précipitations dans le district de Tiruvannāmalai pour comprendre les impacts du changement climatique

La partie 2.1 a mis en évidence les principales manifestations du changement climatique en Inde et les spécificités régionales qui existent. La mousson qui est un organe vital pour la vie du pays connaît une grande variabilité naturellement et le changement climatique amène à un renforcement de cette variabilité. Une nouvelle fois des disparités spatiotemporelles existent selon le degré de variabilité de la mousson indienne. Ainsi l'étude nationale ou régionale de la mousson indienne n'est pas suffisante pour comprendre la traduction du changement climatique sur les précipitations. C'est pourquoi, dans le cadre du programme PATAMIL, une étude climatologique a été menée à l'échelle du district de Tiruvannāmalai, territoire administratif d'échelle supérieure dans lequel les Jawadhu Hills se situent. La climatologie travaille sur au moins des périodes de 30 ans, il s'agit de l'étude des saisons à partir de paramètres météorologiques, comme les températures et les précipitations. Pour les territoires qui connaissent de grandes variabilités on s'intéresse plutôt aux extrêmes qui caractérisent les « catastrophes », ou du moins des événements fortement ressentis par les populations locales. L'étude des régimes pluviométriques repose sur l'analyse de moyennes cependant dans les régions à grande variabilité de précipitations cela perd de son sens (Godard et Tabeaud, 2009). C'est pourquoi pour identifier les impacts du changement climatique sur les précipitations du district de Tiruvannāmalai des indicateurs quantitatifs selon le nombre de jour, le nombre d'année et les totaux ont été privilégiés. La partie s'est articulée autour de trois études thématiques, la première sur les épisodes de sécheresse, la deuxième à propos des phénomènes de pluies intensives et la dernière sous-partie est consacrée à l'étude des phénomènes extrêmes ENSO et leurs relations avec les précipitations sur le district de Tiruvannāmalai. Ces travaux tentent de répondre aux trois hypothèses de départ suivantes :

- Le changement climatique dans le district de Tiruvannāmalai se caractérise par une intensification des aléas climatiques extrêmes soit une augmentation de la durée et de la fréquence des épisodes de sécheresse et une augmentation de l'intensité des épisodes de pluies sévères ;

- Le phénomène météorologique El Niño provoque des sécheresses dans le district de Tiruvannāmalai pendant la période des moussons ;
- Le phénomène météorologique La Niña provoque des pluies diluviennes dans le district de Tiruvannāmalai pendant la période des moussons.

### 2.2.1 Des sécheresses plus longues et plus intenses les deux dernières décennies

Quel intérêt d'étudier l'évolution des précipitations pour comprendre le changement climatique dans le district de Tiruvannāmalai ? Comme susmentionné dans les parties précédentes, l'objectif de ce mémoire est de caractériser les impacts du changement climatique dans les Jawadhu Hills et notamment sur les activités agricoles. Les systèmes agricoles indiens étant grandement dépendant de la mousson, l'étude de ce phénomène de manière localisée est donc légitime. Pourquoi l'étude des précipitations et non pas des températures ? Le souci de l'accessibilité à la donnée a également joué un rôle dans le choix de cet indicateur pluviométrique, en Inde les données en libre accès sont limitées, ici une base de données fiables, complètes et sur une longue période a été trouvée pour les précipitations du district de Tiruvannāmalai auprès du Service d'information indien sur la ressource en eau géré par le Gouvernement indien.

Selon la classification des types de climat proposée par les géographes et climatologues français Alain Godard et Martine Tabeaud, le district de Tiruvannāmalai correspond à un climat tropical à saison alterné. Il se caractérise par une alternance de saison sèche et de saison humide, dans ce contexte la mousson indienne. La saison sèche est marquée par des températures plus élevées que la saison humide, elle est centrée sur le solstice d'hiver *a contrario* de la saison humide qui est centrée sur le solstice d'été (Godard et Tabeaud, 2009). La normale de précipitations annuelles du district de Tiruvannāmalai est de 1 046mm, soit 465,8mm de précipitations durant la mousson du sud-ouest et 439,8mm durant la mousson du nord-est. Les deux moussons ont autant d'importance l'une que l'autre car elles approvisionnent le territoire en eau autant l'une que l'autre, voir le tableau 6.

Saison	Mois	Normales de précipitations (mm)
<b>Pluies d'hiver</b> 3,1%	janvier	19,3
	février	13,5
<b>Pré-mousson</b> 10,3%	mars	13
	avril	21,5
	mai	73,7
<b>Mousson du sud-ouest</b> 44,5%	juin	55,8
	juillet	96,9
	août	139
	septembre	174,1
<b>Mousson du nord-est</b> 42%	octobre	200,3
	novembre	161,3
	décembre	78,2

Tableau 6 : Répartition des précipitations annuelles selon les normales mensuelles du district de Tiruvannāmalai. N. Atek, Université d'Orléans, 2023. Source : Indian-WRIS, 2023

Il a été démontré dans le chapitre précédent que l'une des conséquences du changement climatique est l'augmentation des périodes de sécheresse et de leur fréquence durant la mousson. À noter que la sévérité d'une sécheresse est liée à sa durée. Dans ce sens, le travail suivant consiste à vérifier l'hypothèse que le district de Tiruvannāmalai connaît des périodes de sécheresse plus longues et plus fréquentes. L'étude de la sécheresse s'effectue principalement à partir de celle des précipitations, mais des indicateurs de température, de vent, d'humidité ou encore de végétation peuvent y être associés. C'est en 1993 que les scientifiques américains McKee, Doesken et Kleist ont mis au point, l'indice de précipitations normalisé (SPI). Cet indice est pratique par sa capacité d'application à tous les territoires et nécessite seulement une base de données de précipitations mensuelles sur au moins 30 ans. L'indice SPI peut autant servir pour l'étude des sécheresses que celle des périodes de pluies, il caractérise l'intensité de ces phénomènes selon les catégories du tableau 7. Il existe trois types de sécheresses : météorologique, agricole et hydrologique.

La sécheresse météorologique s'analyse sur des périodes inférieures à 3 mois, la sécheresse

agricole sur des périodes allant jusqu'à 6 mois et la sécheresse hydrologique sur des périodes de 6 à 24 mois. La réponse à une anomalie négative de précipitations de la ressource aquatique de surface et souterraine met davantage de temps à être observée que celle de l'humidité du sol ou de la croissance des plantes ce qui oriente le choix d'échelle temporelle du calcul de l'indice SPI (OMM, 2012).

2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sec
de -1,5 à -1,99	Très sec
-2 et moins	Extrêmement sec

Tableau 7 : Valeurs de l'indice SPI, source : OMM, 2012

Le Service d'information indien sur la ressource en eau (Indian-WRIS) met à disposition en ligne gratuitement des données sur les précipitations à l'échelle nationale, des États et des districts. Plusieurs plages de temporalités sont également à disposition, les données peuvent être journalières, mensuelles ou annuelles. Malgré quelques latences, le site est intuitif et propose à la fois une représentation cartographique des résultats comme le montre l'annexe 3 : *Exemple de représentation cartographique des précipitations dans le district de Tiruvannāmalai durant la mousson du sud-ouest 2022 (p.211)*, et des résultats téléchargeables sous format Excel ou csv, facilitant leurs traitements. Ainsi, une base de données des précipitations annuelles et selon la mousson sur 72 ans (1950-2022) dans le district de Tiruvannāmalai a été constituée. Les données sont alimentées et contrôlées par le Gouvernement indien, les résultats obtenus lors de cette étude dépendent donc des données fournies par les instances indiennes. Il semble que l'accès aux données de précipitations sur le site soit limité aux adresses IP (Internet Protocol) indiennes, car une fois en France un message d'indisponibilité des données s'affiche, il a donc été un réel avantage de collecter et de traiter

les données climatologiques sur le terrain d'étude. Cependant, il n'est plus possible de vérifier ou compléter les données pluviométriques à moins de contacter à partenaire local, il s'agit là d'une limite.

Pour l'étude des sécheresses du district de Tiruvannāmalai , le programme SPI Generator sous Windows a été utilisé. L'indice SPI a été calculé selon quatre échelles temporelles : 3 mois, 4 mois, 7 mois et 12 mois. Une vigilance est à apporter lors de l'application du programme. Usuellement le calcul des valeurs SPI se font sur une année selon l'échelle mensuelle choisie, par exemple dans le cas d'une application pour trois mois, l'indice SPI est calculé tous les trois mois sur une année. Cependant, dans le cas de régions qui connaissent naturellement de fortes variabilités saisonnières de précipitations, la saison sèche est considérée comme période de sécheresse alors qu'il s'agit d'un événement climatique naturel. C'est pourquoi, les indices SPI de 3 mois, de 4 mois et de 7 mois sont calculés seulement avec les mois de mousson. De plus, cette étude cherche à croiser l'évolution des précipitations avec les activités agricoles, ces dernières sont particulièrement dépendantes de la mousson dans les Jawadhu Hills d'où l'intérêt d'étudier les événements de sécheresse durant la mousson. Ainsi, l'indice SPI de 3 mois calcule les épisodes de sécheresse pour chaque année en 1950 et 2022 lors de la mousson du nord-est (d'octobre à décembre) ; pour l'indice SPI 4 mois il s'agit de la mousson du sud-ouest (de juin à septembre) ; pour l'indice SPI de 7 mois il s'agit de l'ensemble de la période de mousson ; et l'indice SPI 12 mois calcule des épisodes de sécheresse à l'échelle annuelle à titre comparatif<sup>15</sup>. Les deux moussons ont fait l'objet d'une étude séparée car elles ont autant d'importance l'une que l'autre vis-à-vis du calendrier agricole des Jawadhu Hills, en effet certains agriculteurs ont deux rotations de cultures durant la mousson, correspondant au calendrier des deux moussons se référer au mémoire de M. Rzegoczan, « La diffusion des millets dans les Jawadhu Hills : quelles perspectives de développement rural d'un territoire tribal ? », 2023.

La figure 36 met en évidence des épisodes de sécheresse extrême concentrés sur les deux dernières décennies. Les années connaissant les plus forts épisodes de sécheresse durant la mousson du sud-ouest sont 1959, 1990, 2001, 2002, 2003 et 2004. Le mois de septembre

---

<sup>15</sup> Les conseils du professeur-chercheur, Maître de conférences de Géographie à l'Université d'Orléans, Oumar Marega, ont appuyé les choix méthodologiques de calcul des indices SPI pour le territoire des Jawadhu Hills.

2002 connaît la plus forte sécheresse enregistrée avec un indice de SPI -3,72. Il est visible qu'entre 2000 et 2006 le district de Tiruvannāmalai connaît une importante période de sécheresse durant la mousson du sud-ouest, il s'agit à la fois de la plus longue période de sécheresse à l'échelle de la mousson du sud-ouest et de la période cumulant les indices de sécheresse les plus importants entre 1950 et 2022. *A contrario* les épisodes de forte humidité sont plus fréquents entre 1950 et 1985. Plus globalement que ce soit pour les épisodes humides et secs, ces derniers s'étalent sur plusieurs mois à l'échelle de la mousson et les tendances restent souvent les mêmes sur plusieurs années consécutives avant de connaître un renversement de tendance.

En ce qui concerne la mousson du nord-est, la figure 37 montre que la variabilité entre les épisodes humides et secs est plus fréquente. Même s'il y a environ le même nombre d'années qui connaissent de forte humidité entre les deux moussons (25 années pour la mousson du sud-ouest et 26 années pour la mousson du nord-est) et également environ le même nombre d'années qui connaissent des épisodes de fortes sécheresse (21 années pour la mousson du sud-ouest et 22 années pour la mousson du nord-est), les tendances de précipitations changent plus régulièrement d'une année à l'autre durant la mousson de nord-est par rapport à la mousson du sud-ouest. Sur les quatre années qui ont un épisode de sécheresse extrême, trois ont lieu au XXI<sup>e</sup> siècle : 2001, 2002 et 2003. Ces périodes de sécheresses coïncident avec les tendances de la mousson du sud-ouest. Cependant les sécheresses extrêmes sont moins sévères durant la mousson du nord-est que la mousson du sud-ouest, le maximum étant atteint en octobre 2002 avec un indice de -2,82. À l'image des tendances des précipitations de la mousson du sud-ouest, les périodes de sécheresse sont également de plus en plus longues durant la mousson du nord-est. En effet, entre 1950 et 1975, les périodes de sécheresse sont réparties sur deux à trois années consécutives, alors qu'à partir de 1986 elles s'étalent jusqu'à quatre années consécutives.

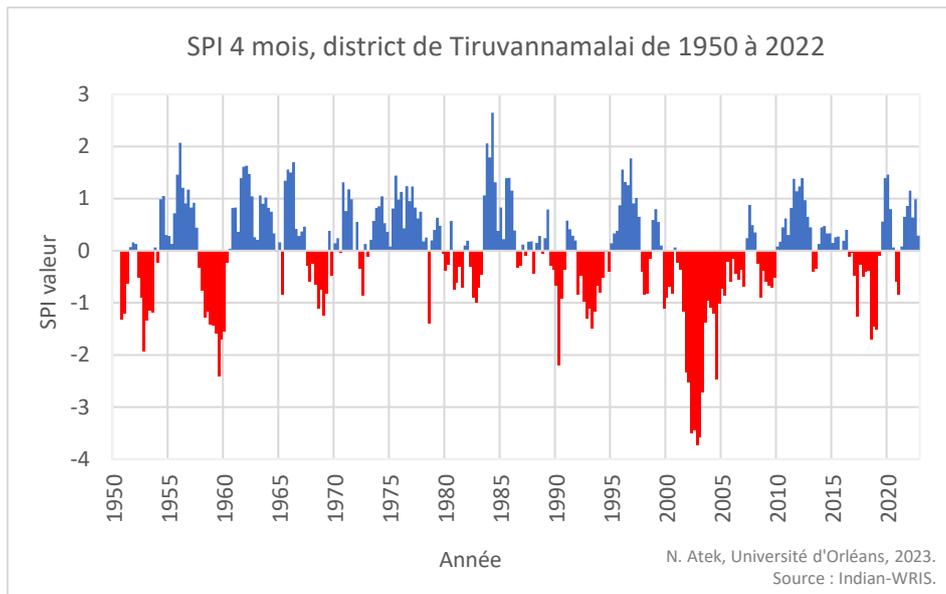


Figure 36 : SPI 4 mois, district de Tiruvannāmalai 1950-2022, source : Indian-WRIS, 2023

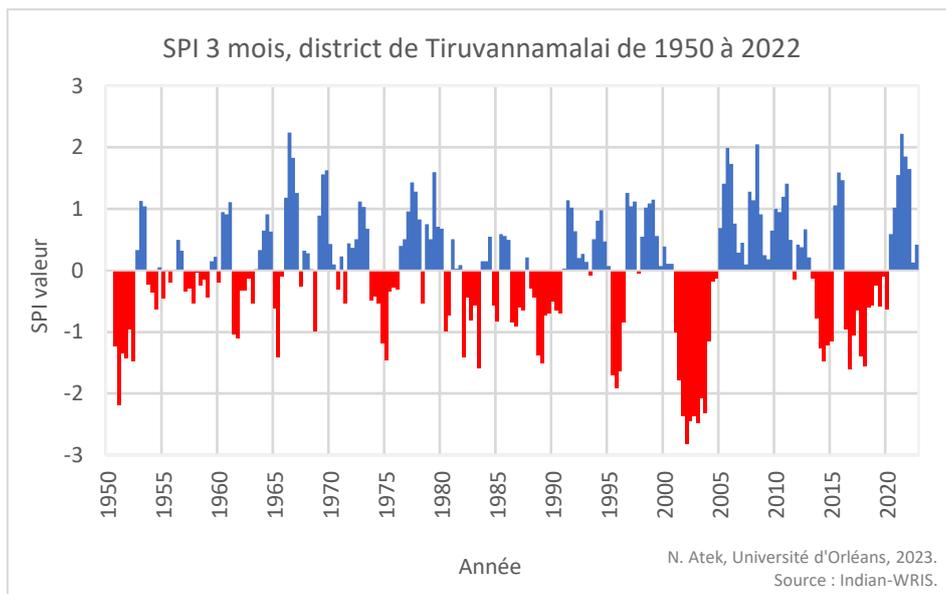


Figure 37 : SPI 3 mois, district de Tiruvannāmalai 1950-2022, source : Indian-WRIS, 2023

Il est intéressant d'appliquer l'indice SPI à une échelle de sept mois, ici de juin à octobre car il s'agit de la période de *kharif* en Inde, la culture de la saison des pluies. Les graines sont semées en juin et la récolte à lieu en octobre (Burgaudeau, 2018), dans les Jawadhu Hills dans la plupart des cas deux rotations de cultures ont lieu pendant le *kharif*. Ainsi la figure 38 illustre les événements extrêmes qui ont eu lieu pendant le *kharif*, leur intensité impacte directement

les activités agricoles. La figure 39 propose une étude des précipitations à l'échelle de douze mois ce qui à la fois offre une vision globale des tendances de précipitations et correspond à l'échelle d'analyse des sécheresses hydrologiques en plus des sécheresses météorologiques et agricoles (Organisation Météorologique Mondiale, 2012). Une limite est à noter pour l'analyse de l'indice SPI de 12 mois, l'évolution des précipitations mensuelles pour chaque année, cependant le district de Tiruvannāmalai étant soumis au régime des moussons, une partie de l'année il ne reçoit que très peu de pluie ce qui correspond à la saison sèche. En effet, la saison sèche, de janvier à mai dans le district de Tiruvannāmalai, reçoit 13,4% des précipitations annuelles tandis que la saison des pluies, de juin à décembre en reçoit 86,5% (tableau 6). Par conséquent les résultats du graphique de l'indice SPI de 12 mois peuvent s'en trouver modifiés. Pour cela, il est intéressant de le comparer avec celui représentant le SPI à l'échelle de sept mois car ce sont les épisodes de sécheresse durant cette période-là qui ont un plus important impact sur les activités agricoles. La comparaison des deux graphiques met en lumière les mêmes tendances : les sécheresses les plus sévères sur le district de Tiruvannāmalai ont eu lieu entre 2001 et 2005 et il s'agit aussi de la période de sécheresse la plus longue enregistrée entre 1950 et 2022.

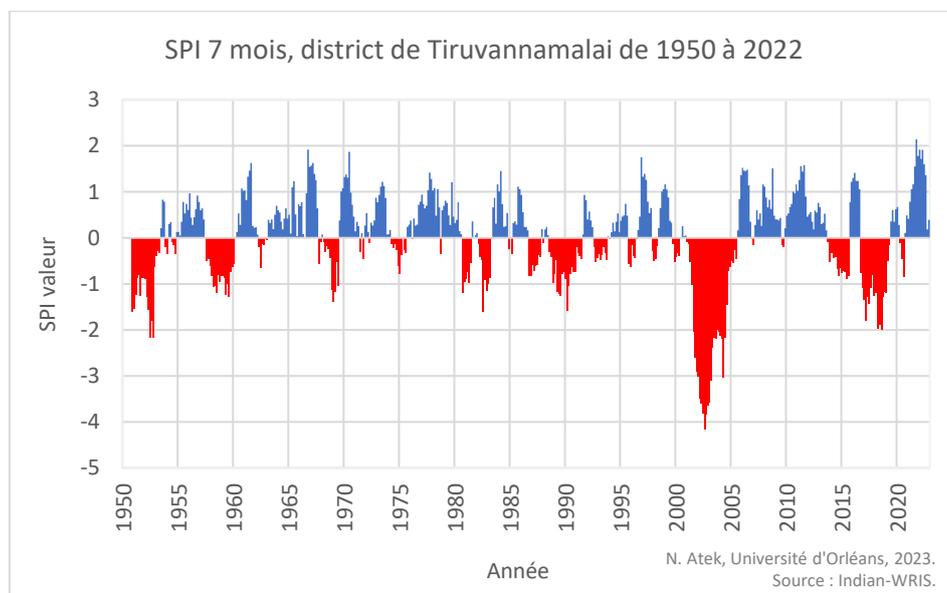


Figure 38 : SPI 7 mois, district de Tiruvannāmalai 1950-2022, source : Indian-WRIS, 2023

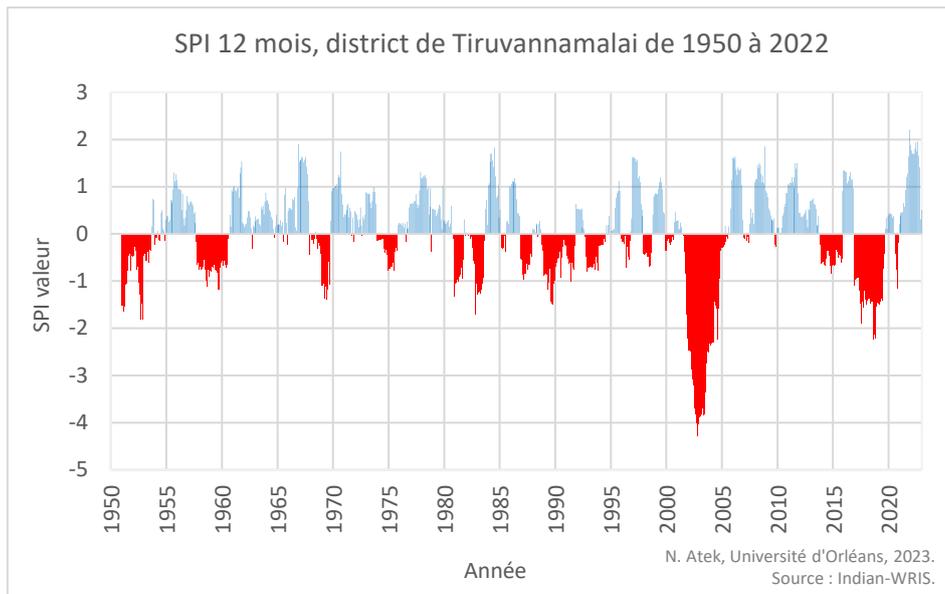


Figure 39 : SPI 12 mois, district de Tiruvannāmalai, 1950-2022, source : Indian-WRIS, 2023

Les quatre figures présentant l'étude de l'indice SPI à l'échelle du district de Tiruvannāmalai montrent la grande variabilité interannuelle et intra-saisonnière des précipitations. Ces variations temporelles connaissent des épisodes de plus en plus contrastés avec des records de sécheresse recensés cette dernière décennie. Cependant, l'étude selon le SPI n'apporte pas de données quantitatives, c'est pourquoi deux études quantitatives complémentaires ont été menées. En effet, il existe trois types de sécheresse : météorologique, agricole et hydrologique. Le département météorologique d'Inde considère qu'il y a une sécheresse météorologique lorsqu'il y a un déficit de plus de 25% par rapport à une *Long Period Average*. Elle est qualifiée de sécheresse modérée lorsque le déficit de précipitations est compris entre 25% et 50%, il s'agit d'une sécheresse sévère lorsque le déficit excède les 50%. La sécheresse agricole est caractérisée par un manque de précipitations et d'humidité dans le sol pendant la période de croissance des plantes causant un stress pour les plantes et affectant la production agricole. En Inde une sécheresse agricole est déclarée s'il y a pendant quatre semaines consécutives une sécheresse météorologique sévère ; ou si pendant au moins une semaine pendant la saison du *kharif* il y a moins de 5mm de précipitations. Bien souvent des indices de végétation et d'humidité du sol sont nécessaires pour compléter les données de précipitations pour déterminer une sécheresse agricole. Enfin, la sécheresse hydrologique est qualifiée par un manque d'approvisionnement en eau de

surface, par rapport à des normales ou des besoins spécifiques (Department of agriculture and cooperation, Ministry of agriculture – India, 2009).

La figure 40 propose une approche quantitative de la sécheresse et appuie les résultats obtenus lors de l'étude via l'indice SPI. Pour la réalisation du graphique seules les précipitations entre les mois de juin et décembre ont été retenues, soit les deux périodes de mousson. Les années ayant connu un déficit égal ou supérieur à 25% des normales de saison apparaissent distinctement. Pour identifier les années de sécheresse, des données de références ont été utilisées : la normale de précipitations du district durant la mousson est de 905,6mm et le seuil de sécheresse fixé est à 679,2mm calculé à partir du tableau 6 des normales de précipitations. Tout comme les figures précédentes, la figure 40 montrent qu'il y a davantage de sécheresse ces vingt dernières années avec deux fois trois années consécutives qui connaissent un déficit égal ou supérieur à 25% : de 2001 à 2003 et de 2016 à 2018. Une fois de plus l'année 2002 ressort clairement comme l'année la plus sèche enregistrée en 72 ans, avec 221,09mm de précipitations. Avant cela les années qui connaissent un déficit de précipitations durant les moussons sont plus espacées dans le temps, seules les années 1950 et 1951 connaissent un déficit consécutif.

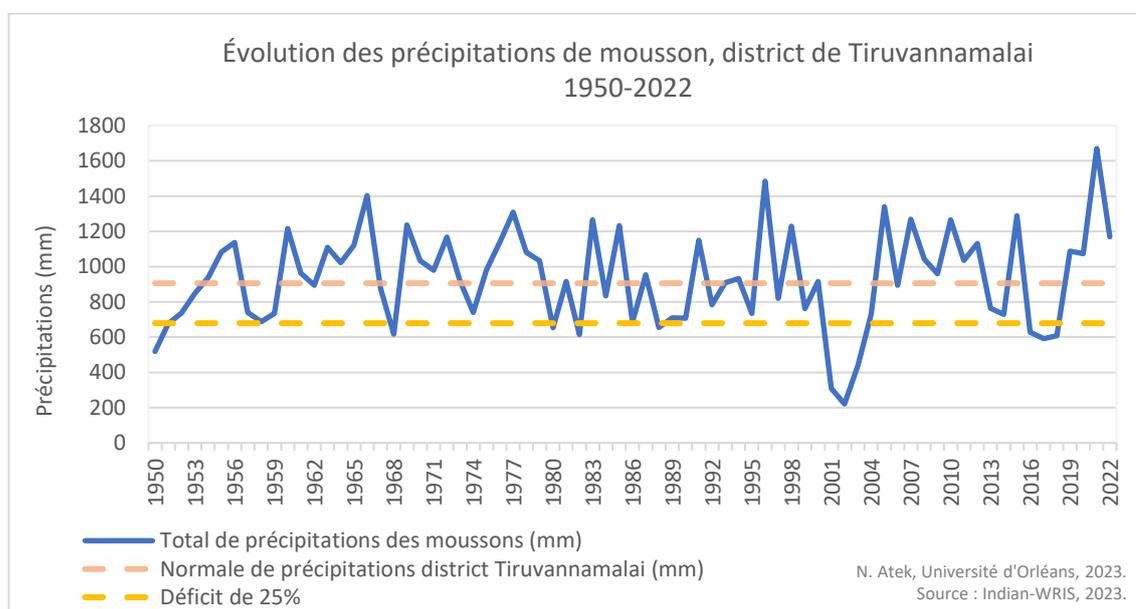


Figure 40 : Évolution des précipitations de mousson, district de Tiruvannāmalai 1950-2022, source : Indian-WRIS, 2023

Il est également intéressant d'étudier les jours consécutifs sans précipitation car cela a un impact sur les activités agricoles et notamment la croissance des cultures. Le Gouvernement indien considère qu'il y a une sécheresse agricole à partir de quatre semaines consécutives de sécheresses sévères. Pour étudier ce phénomène le plus grand nombre de jours consécutifs sans précipitation a été calculé pour chaque année comprises entre 1950 et 2019. Ces années ont ensuite été réparties en fonction de seuil temporel : de 1 à 7 jours ; de 8 à 14 jours ; de 15 à 21 jours et de 22 à 31 jours. Une analyse par décennie a été privilégiée afin de faciliter la lecture, par soucis de représentativité les trois dernières années n'ont pas été comptabilisées. L'adoption d'une approche analytique par période offre une vue d'ensemble et facilite l'identification de tendance. Ici, seuls les jours consécutifs sans précipitation durant la période des moussons ont été pris en compte. En effet, un premier calcul a été fait à l'échelle annuelle cependant le district de Tiruvannāmalai reçoit plus de 80% de ses précipitations annuelles entre juin et décembre (tableau 6) le reste du temps il s'agit d'une saison sèche où les normales de précipitations sont très faibles. Cette période concentre un grand nombre de jours consécutifs sans précipitation mais ces phénomènes ne représentent pas des sécheresses agricoles car ils se produisent pendant la période où les précipitations sont normalement très basses sans pour autant causer d'impacts négatifs sur les activités agricoles qui sont adaptées à la période sèche. Ainsi, la figure 41 prend en compte seulement les jours consécutifs sans précipitation entre juin et décembre pour une analyse plus juste au regard de l'indicateur soumis par le Ministère de l'agriculture indien.

La figure 41 révèle une augmentation depuis 1980 du nombre d'années qui connaît des périodes sans précipitation entre 15 et 21 jours. Les périodes de 8 à 14 jours sans précipitation restent dominantes à chaque décennie excepté entre 1980 et 1989 et entre 2010 et 2019. Seule la dernière décennie connaît un nombre d'années plus importants avec 3 semaines consécutives sans précipitation. Aucune année entre 1950 et 2019 n'a connu plus de 30 jours sans précipitation. C'est en 1967 qu'il y a le plus grand nombre de jours consécutifs sans précipitation, soit 29 jours. Les années avec le deuxième nombre de jours sans précipitation le plus important sont 1970 et 2017 avec 25 jours.

L'étude à travers le nombre de jours consécutifs sans précipitation est intéressante car elle montre que ce n'est pas à l'aide de cet indicateur que la sécheresse agricole est déterminée dans le district de Tiruvannāmalai . L'étude de l'indice SPI et du déficit de précipitations durant

les moussons est davantage révélateur des périodes de sécheresse et de leur intensification ces vingt dernières années sur le territoire d'étude.

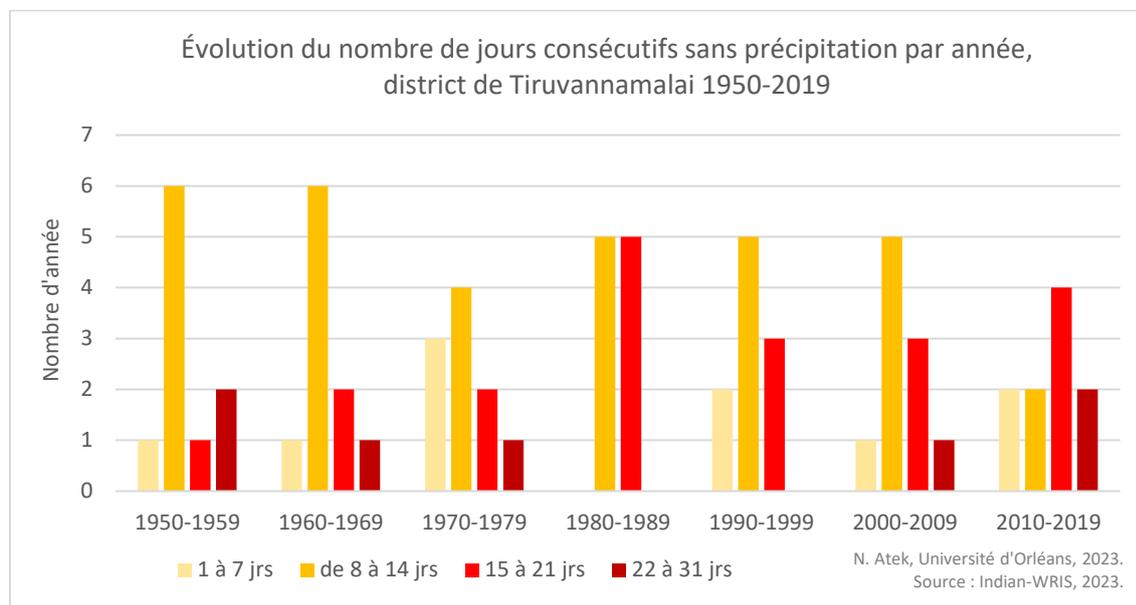


Figure 41 : Évolution du nombre de jours sans précipitation par année, district de Tiruvannāmalai 1950-2019, source : Indian-WRIS, 2023

## 2.2.2 Des pluies plus intenses et concentrées sur de plus courtes périodes

Pour comprendre l'évolution des précipitations entre 1950 et 2022 sur le district de Tiruvannāmalai, une étude de la répartition des précipitations selon leur intensité a été réalisée. Il est entendu par intensité des précipitations la quantité d'eau précipitée dans un intervalle de temps donné (Godard et Tabeaud, 2009). Tout d'abord, une classification des précipitations en fonction de leur intensité a été établie à partir de celle du Département Météorologique d'Inde (IMD). La nomenclature de l'IMD se divise en 6 classes selon les seuils suivants : pluie très faible 0,1-2,4mm ; pluie faible 2,5-7,5mm ; pluie modérée 7,6-35,5mm ; pluie assez forte 35,6-64,4mm ; pluie forte 64,5-124,4mm et pluie très forte 124,5-244,4mm (Kokilavani *et alii*, 2021). La maximale des normales journalières de précipitations du district de Tiruvannāmalai est de 10,9mm le 7 octobre, et il est convenu par l'IMD qu'il s'agit d'un excès d'eau lorsque les précipitations sont supérieures de 20% par rapport à une *Long Period*

*Average* (LPA). Ces LPA correspondent à des périodes de 30 à 50 ans, il existe des normales journalières, mensuelles et annuelles de précipitations pour chaque État et district indien (Department of Agriculture and Cooperation, Ministry of Agriculture – India, 2009). La définition des seuils de précipitations a été adaptée aux normales de précipitations journalières du district de Tiruvannāmalai, ainsi à partir de la maximale de 10,9mm il est considéré qu’au-dessus de 13mm de précipitations journalières il s’agit d’un excès (soit 20% d’excès). La nomenclature établit ici s’inspire donc de celle de l’IMD mais ne lui correspond pas avec exactitude. Pour les analyses qui vont suivre voici les seuils de l’intensité des précipitations proposés : pluie légère de 0,01 à 12mm ; pluie modérée de 13 à 40mm ; pluie assez forte de 41 à 60mm ; pluie forte de 61 à 100mm et pluie très forte supérieure à 100mm.

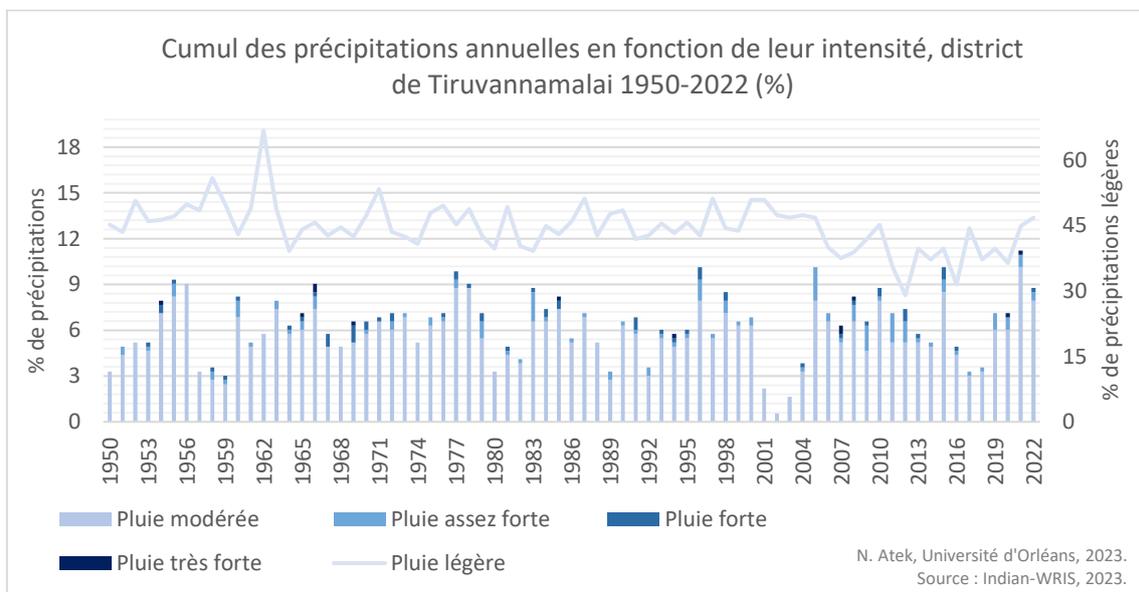


Figure 42 : Cumul des précipitations par seuil d'intensité, district de Tiruvannāmalai 1950-2022, source : Indian-WRIS, 2023

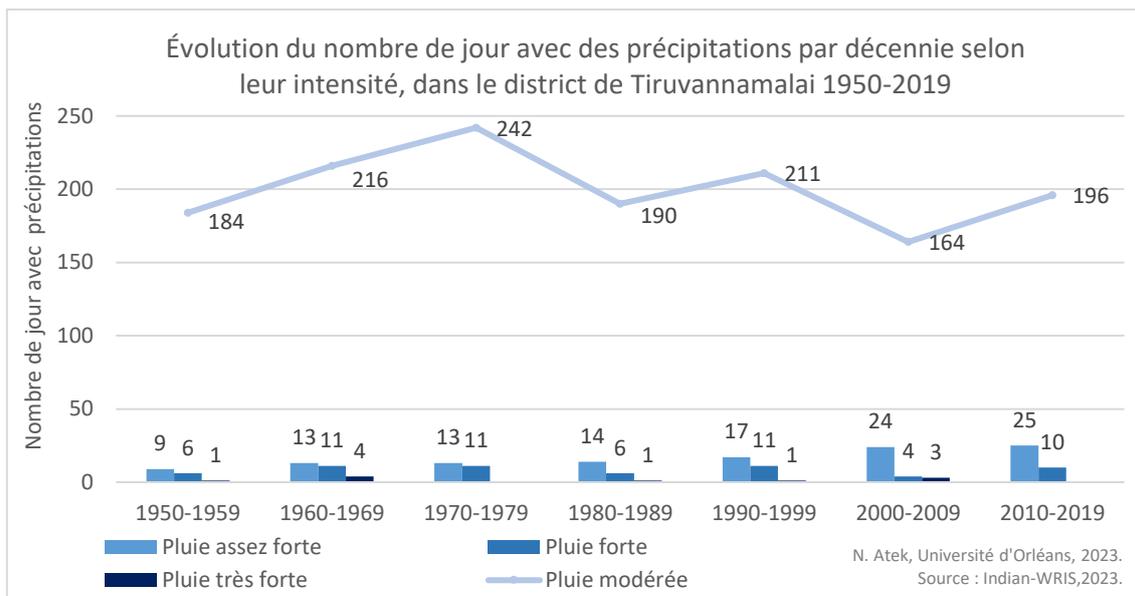


Figure 43 : Répartition du nombre de jour avec des précipitations selon leur intensité, district de Tiruvannāmalai 1950-2019, source : Indian-WRIS, 2023

Pour réaliser la figure 42 chaque année a fait l'objet d'une étude sur les précipitations journalières à partir desquelles la répartition en pourcentage selon le cumul des précipitations pour chaque seuil a été calculé. La figure 42 montre que les pluies légères sont prédominantes chaque année, cependant les vingt dernières années connaissent une diminution de leur part de précipitations légères passant en dessous de 45%. Les pluies modérées n'excèdent pas les 10% de précipitations annuelles et sont la deuxième classe la plus représentée. Les événements d'assez forte de pluie, de forte pluie et de très forte pluie sont plus ponctuels, leur représentativité à l'échelle annuelle dépasse rarement les 1%. Parmi les 10 années qui ont un cumul de pluie assez forte supérieur à 1%, six années se trouvent lors des deux dernières décennies (2005, 2008, 2009, 2011, 2012, 2019) et les cinq autres années sont réparties sur quatre décennies : 1960, 1979, 1983, 1996. Ainsi, il y a une concentration de pluie assez forte plus importante ces vingt dernières années en parallèle à une réduction de pluie légère. En ce qui concerne les pluies fortes et très fortes, seule une année connaît 1% de fortes précipitations par rapport à l'ensemble de ses précipitations annuelles, il s'agit de 1969 et pour les précipitations très fortes, leur représentativité n'excède pas 0,5% en 1966 et 2007. Pour compléter la figure 42 qui offre assez peu de visibilité sur l'intensification des épisodes de pluie, la figure 43 a été réalisée selon les mêmes seuils de précipitations mais avec un indicateur journalier. Cette fois, une approche par décennie a été adoptée pour des questions

de simplification de lecture de l'analyse, c'est pourquoi les années de 2020 à 2022 ne sont pas prises en compte. Ici, il s'agit du calcul du nombre de jour ayant reçu des précipitations classées par seuil d'intensité pour chaque année, analysé à l'échelle de période décennale. Les nombres de jours ayant reçu des pluies légères n'apparaissent pas sur la figure parce que leur nombre est bien supérieur aux autres seuils et qu'ici l'évolution des pluies plus intenses est prioritairement étudiée. Toutefois, la somme du nombre de jour ayant reçue de légères précipitations par décennie a été calculée et une diminution progressive de leur nombre est observée. Les périodes 1950-1959 et 1960-1969 ont environ 1 700 jours de légère pluie ; les périodes de 1970-1979 à 2000-2009 en ont environ 1 600 et la dernière décennie compte 1 385 jours de pluies faibles. La figure 43 montre la même tendance avec le nombre de jours de pluie modérée. À l'inverse les pluies assez fortes sont de plus en plus présentes, quant aux pluies fortes et très fortes il s'agit d'événements plus ponctuels il est donc plus difficile d'identifier une tendance claire et homogène sur les sept décennies.

L'étude de l'intensification des pluies dans le district de Tiruvannāmalai s'effectue également à travers l'évolution des précipitations maximales en 24h. Pour cela, la maximale de précipitations journalières est identifiée pour chaque année sur les sept périodes décennales sélectionnées précédemment. Une fois de plus il a été préféré une analyse par décennie pour une simplification de l'analyse et distinguer des tendances sur 70 ans. Pour la réalisation de la figure 44 chaque maximale a été répartie par seuil d'intensité : pluie modérée (13-40mm), pluie assez forte (41-60mm), pluie forte (61-100mm) et pluie très forte (supérieure à 100mm). Il est représenté le nombre d'année par décennie répartis selon l'intensité de leur maximale journalière.

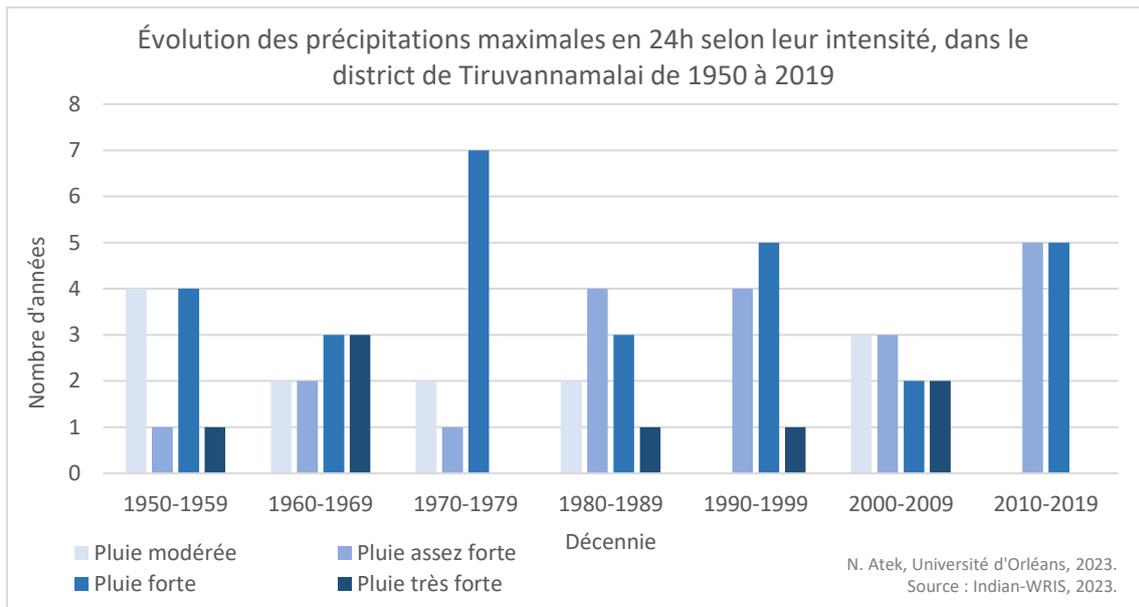


Figure 44 : Évolution des précipitations maximales en 24h selon leur intensité, district de Tiruvannāmalai 1950-2019, source : Indian-WRIS, 2023

Parmi les sept périodes représentées toutes ont connu au moins une année avec des précipitations maximales journalières de plus de 100mm, exceptées les périodes de 1970-1979 et 2010-2019. Les périodes qui enregistrent le plus d'année avec de très forte pluie sont 1960-1969 et (3 années) et 2000-2009 (2 années). L'année ayant reçu le plus de précipitations en 24h entre 1950 et 2019 est 2007, avec des précipitations journalières atteignant 207,49mm le 20 décembre. C'est 80mm de plus que la seconde année qui connaît la plus importante maximale journalière, en 1969 avec 128,44mm en 24h le 20 novembre. Au fil des décennies, les années ayant des maximales de précipitations comprises entre 13 et 40mm sont de moins en moins nombreuses, en parallèle les années avec des maximales de pluies comprises entre 41 et 60mm sont de plus en plus fréquentes. Il est à noter que la majorité des maximales de précipitations journalières enregistrées dans le district de Tiruvannāmalai ont lieu durant la mousson du nord-est (54 sur 70 ans). À titre informatif, sur les trois dernières années non comptabilisées dans la figure 44, deux ont leur maximale de précipitations journalières classées comme pluie très forte soit : en 2020, 102mm le 26 novembre ; en 2021, 117, 4mm le 19 novembre ; en 2022, 63,1mm le 10 décembre.

Les parties 2.2.1 et 2.2.2 ont montré l'augmentation des épisodes de sécheresse et de pluies intensives sur le district de Tiruvannāmalai , pour comprendre l'éventuelle lien de corrélation qui existe entre ENSO et les tendances de la mousson indienne dans le district de Tiruvannāmalai une étude a été menée.

### 2.2.3 L'impact d'ENSO à nuancer sur les événements météorologiques extrêmes du district de Tiruvannāmalai

Les phénomènes extrêmes d'ENSO (El Niño et La Niña) sont des phénomènes planétaires dont les conséquences diffèrent selon leur localisation. Ici deux hypothèses sont émises pour le district de Tiruvannāmalai : les épisodes El Niño provoquent des périodes de sécheresse ; les épisodes de La Niña provoquent des épisodes de pluies diluviennes. Pour affirmer ou non ces hypothèses un premier travail a été réalisé à partir d'une étude détaillée de la répartition des précipitations journalières durant les moussons du sud-ouest et du nord-est. Pour cela deux années témoin pour chaque décennie entre 1950 et 2019 ont été sélectionnées, l'une correspondant à une année du plus fort événement El Niño de la décennie et l'autre du plus intense événement La Niña de la décennie selon l'Index d'Oscillation Niño. L'objectif était d'étudier l'intensification d'épisodes de sécheresse durant les deux moussons lors d'événement El Niño et l'intensification de pluies diluviennes lors d'événement La Niña. Cette étude n'est pas présentée ici car l'étude d'un phénomène climatique globale à l'échelle d'un district simplement sur des années témoins ne permet pas de faire état de tendance à une échelle aussi localisée pour cela scientifiquement cette étude n'était pas correcte. Pour autant, dans un souci d'apporter des éléments de réponses aux deux hypothèses émises une étude sur les 72 dernières années a été réalisée. *L'annexe 4 : Tableau des épisodes d'ENSO et des tendances de précipitations sur le district de Tiruvannāmalai, 1950-2022, p.212-213.*, constitue la base de données sur laquelle ce travail s'est appuyé. Les indicateurs suivants sont établis à l'aide des études précédentes :

- Le nombre d'années en déficit par rapport aux normales de précipitations annuelles correspondant à un événement El Niño ;
- Le nombre d'année ayant un nombre de jours consécutifs sans précipitations compris entre 22 et 31 jours correspondant à un événement d'El Niño ;
- Le nombre d'année en excès par rapport aux normales de précipitations annuelles correspondant à un événement La Niña ;
- Le nombre d'année ayant des précipitations journalières maximales classées comme très forte correspondant à un événement La Niña.

Entre 1950 et 2022, douze années connaissent un déficit égal ou supérieur à 25% de la normale annuelle de 1 046mm de précipitations : 1950, 1968, 1980, 1982, 1988, 1989, 2001, 2002, 2003, 2016, 2017, 2018. Parmi ces années, cinq coïncident avec un événement d'El Niño dont un classé comme El Niño faible, deux comme El Niño modéré et un comme El Niño très fort en 1982. Deux années connaissent à la fois un événement El Niño et La Niña : en 2016 avec un El Niño fort et la Niña faible et en 2018 avec un El Niño et La Niña faibles. Les cinq autres années restantes sont soit des années neutres (trois années) soit des années La Niña (deux années). En ce qui concerne les années dont le nombre de jours consécutifs sans précipitations se situent entre 22 et 31 jours : 1950, 1955, 1967, 1970, 2002, 2012 et 2017. Une seule année correspond à un événement d'El Niño modéré, en 2002, une année est neutre et les autres coïncident avec des événements La Niña dont un fort, deux modérés et deux faibles.

Sur 72 années 16 années sont en excès de précipitations annuelles égales ou supérieures à 20% : 1955, 1960, 1966, 1969, 1972, 1977, 1983, 1985, 1996, 1998, 2005, 2007, 2008, 2010, 2015, 2021. Parmi ces années, six sont des épisodes La Niña, dont quatre modérées et deux faibles. Les années 1983, 1998 et 2010 sont des années doubles concernant le phénomène ENSO, ils connaissent à la fois un événement El Niño - respectivement un fort, un modéré et un faible – et un événement La Niña, un faible, un modéré et un fort. Il est à noter que lorsqu'une année connaît les deux événements opposés d'ENSO, leur intensité s'oppose par exemple en 2010 il s'agissait d'un El Niño faible et d'une La Niña forte. Pour ce qui est des sept années restantes, deux sont neutres, une année est un El Niño très fort, deux années sont des El Niño fort, une année est un El Niño modéré et une année est un El Niño faible. Il y a eu dix années qui ont connu des précipitations maximales journalières de plus de 100mm (figure 44), six années correspondent à des événements La Niña (trois modérées et trois faibles) et quatre à des événements El Niño dont deux années de forte selon l'ION, une modérée et une faible.

Au regard de ces éléments il est difficile de clairement identifier un lien de cause à effet entre les événements d'El Niño et des épisodes de sécheresse météorologique et entre des événements de La Niña et des épisodes de très fortes précipitations sur le district de Tiruvannāmalai . Les indicateurs de coïncidence selon l'état des précipitations annuelles montrent qu'il y a dans les deux cas presque autant d'années d'El Niño que La Niña, 7 sur 12

années en déficit sont El Niño et 9 sur 16 années en excès sont La Niña. Les indicateurs complémentaires relatifs aux nombres de jours consécutifs entre 22 et 31 jours sans précipitation et aux maximales de précipitations classées comme très forte n'apportent pas d'éléments révélateurs d'une tendance claire. Seule une année sur les sept qui n'ont pas eu de précipitations entre 3 et 4 semaines consécutives durant la mousson correspond à un épisode El Niño. Et six années sur dix ayant reçues des précipitations maximales en 24h supérieures à 100mm sont des événements La Niña.

Ainsi, dans le cadre de cette étude il n'est pas possible d'affirmer qu'il existe un lien entre les phénomènes extrêmes ENSO et les tendances de précipitations sur le district de Tiruvannāmalai . Les hypothèses de rapport de cause à effet entre les épisodes d'El Niño et les sécheresses météorologiques et entre les épisodes de La Niña et les événements de pluies extrêmes ne peuvent être ni affirmées ni réfutées et demandent une étude climatologique plus précise par des climatologues. Les études concernant l'évolution des précipitations dans le district de Tiruvannāmalai sont quant à elles davantage concluantes. Il est observé une augmentation de la durée et de l'intensité des épisodes de sécheresse sur les 20 dernières années (1950-2022). Sur les quatre années qui connaissent une sécheresse extrême selon la nomenclature de l'indice SPI, trois ont lieu au XXIe siècle (2001, 2002 et 2003), avec un record de sécheresse atteint en septembre 2002. Par ailleurs, les épisodes de sécheresse sont plus longs et plus intenses durant la mousson du sud-ouest que pendant la mousson du nord-est, qui est plus concernée par des épisodes de fortes précipitations.

En outre, il est constaté une augmentation de la part des pluies assez fortes au profit des pluies légères ces 20 dernières années, ce qui illustre une augmentation de l'intensité des pluies annuelles. Le XXIe siècle est également marqué par des records de précipitations en 24h sur 72 ans, avec 207,49mm de précipitations tombées le 20 décembre 2007 soit l'équivalent des normales de précipitations du mois d'octobre dans le district, qui est d'ailleurs le mois qui reçoit le plus de précipitations sur l'ensemble de la mousson. La majorité des précipitations maximales annuelles sont enregistrées durant la mousson du nord-est.

Au regard des manifestations du changement climatiques relevées par la sphère scientifique à l'échelle de l'Inde et des résultats de l'étude menée sur l'évolution des précipitations dans le district de Tiruvannāmalai, il est considéré que l'intensification des épisodes de fortes pluies et l'augmentation de la durée et de la sévérité des sécheresses dans le district de Tiruvannāmalai sont des perturbations dues changement climatique.

## 2.3 L'étude du changement climatique dans les Jawadhu Hills limitée par la disponibilité des données

L'étude des précipitations à l'échelle du district de Tiruvannāmalai met en avant les perturbations subies par le territoire causées par le changement climatique sur 70 ans. Qu'en est-il du territoire des Jawadhu Hills ? Pour identifier les manifestations du changement climatique dans une zone restreinte telle que les Jawadhu Hills, la méthodologie adoptée a été d'abord d'appliquer le même protocole d'analyse que le district de Tiruvannāmalai . Cependant l'étude s'est confrontée aux difficultés d'accessibilité aux données météorologiques sur une longue période (au moins 30 ans) alors la méthodologie de travail a dû être réadaptée. Selon les données fournies par la *DHAN Foundation* et l'Observatoire astronomique de Vainu Bappu, il a été préféré de comparer les tendances de précipitations des Jawadhu Hills avec celles du district de Tiruvannāmalai pour extrapoler les résultats obtenus dans le chapitre précédent et les attribuer au territoire des Jawadhu Hills. La seconde partie de ce chapitre a été consacrée à l'étude des microclimats afin de valider l'hypothèse qu'il existe des microclimats dans les Jawadhu Hills, complexifiant l'étude du changement climatique.

### 2.3.1 L'étude de l'évolution des précipitations non révélatrice des tendances des Jawadhu Hills

À l'image du district de Tiruvannāmalai , l'étude de l'évolution des précipitations et notamment des événements de sécheresse et de pluies extrêmes est pertinente pour caractériser les impacts du changement climatique dans les Jawadhu Hills. La volonté de départ était d'appliquer la même méthodologie d'analyse des précipitations que celle employée pour le district de Tiruvannāmalai : via les indices SPI, l'évolution du nombre de jours consécutifs sans précipitation, l'évolution des précipitations par seuil et selon les maximales de précipitations en 24h. L'idéal pour ces analyses est d'avoir une base de données journalières sur au moins 30 voire 50 ans, cependant quelques difficultés ont été rencontrées pour acquérir des données complètes et fiables des précipitations dans les Jawadhu Hills.

Tout d'abord, le gouvernement indien ne met pas à disposition des données pluviométriques à l'échelle des blocs administratifs, ces données étant en libre accès sur le site gouvernemental *Indian Water Resource Information System (Indian-WRIS)* à l'échelle nationale, étatique et pour les districts tels que celui de Tiruvannāmalai . Il a été difficile de trouver des données sur plusieurs années auprès du Département météorologique d'Inde qui rend l'accès aux données soit payant soit pas assez précis d'un point de vue spatial. Donc, une première difficulté a été rencontrée pour obtenir des données pluviométriques à l'échelle du bloc des Jawadhu Hills. Le partenaire local indien de travail, la *DHAN Foundation*, a alors été mobilisé. L'ONG a fourni, avec quelques difficultés, des données sur les précipitations mensuelles entre 2009 et 2018 à l'échelle des Jawadhu Hills. Afin d'acquérir des données journalières sur une plage temporelle plus large, l'Observatoire astronomique de Vainu Bappu (VBO) situé dans le village de Kavalur dans les Jawadhu Hills a été contacté par mail. Le VBO a été réactif, sous condition d'avoir un appui indien légitimant le partage de données, ici la DHAN Foundation, le responsable du VBO a transmis les précipitations journalières entre 2009 et 2022. L'observatoire météorologique ayant ouvert en 2008 aucune donnée antérieure existe dans les Jawadhu Hills d'après le responsable.

Le traitement de ces données a posé de réel difficulté : les données brutes journalières étaient organisées par mois pour chaque année, chacun des fichiers contenant les données journalières sous le format text et dans chacun de fichier ils y avaient 15 colonnes représentant des paramètres pluviométriques, de températures, de vents et de pressions (annexe 5 : Paramètres des relevés de l'Observatoire astronomique de Vainu Bappu, p.214) avec des relevés toutes les dix minutes. Ils y avaient 144 relevés de tous les paramètres pour chaque jours sur les 14 années (*annexe 6 : Échantillon de données brutes des précipitations journalières le 1 juin 2008 dans les Jawadhu Hills, p.215*). Il a fallu dans un premier temps ne garder que l'indicateur intéressant pour l'étude, ici la quantité de précipitations, correspondant à la huitième colonnes. Puis additionner tous les relevés pour avoir le résultat des précipitations journalières. Pour réaliser ces calculs deux options ont été choisies : si les quantités de précipitations n'étaient pas trop importantes alors l'addition se faisait manuellement, dans le cas contraire le fichier était converti en format Excel et à l'aide d'une formule le calcul était réalisé automatiquement. Ce processus de calcul fut donc très chronophage car cela représentait en tout 5 110 jours à calculer. Au cours de la réalisation de

ces calculs, il est apparu que très peu d'années sur les 14 ans étaient complètes, il manquait souvent plusieurs mois dans les précipitations journalières pour chaque année. Même en ne gardant que les mois de mousson (de juin à décembre) le nombre d'années avec des mois complets était trop faible pour réaliser une étude dont l'amplitude était déjà réduite à 14 ans. Ainsi, au regard de ces limites techniques et de l'aporie des données, le choix de l'analyse des précipitations pour le bloc des Jawadhu Hills s'est concentré sur une étude annuelle et mensuelle des précipitations entre 2009 et 2022 à partir des données de la DHAN Foundation (2008 à 2018) complétées par celles du VBO pour les années 2019<sup>16</sup> à 2022.

Ici, il ne s'agit non pas de déterminer directement les impacts du changement climatique sur les précipitations mais plutôt de comparer les tendances de précipitations entre le bloc et le district. L'objectif est d'identifier les convergences et les divergences dans les tendances de précipitations entre 2009 et 2022. Si la majorité des tendances sont les mêmes alors dans une logique d'extrapolation il est supposé que les Jawadhu Hills connaissent les mêmes manifestations du changement climatique sur les précipitations. L'étendue des données étant restreinte pour une analyse climatologique juste, les résultats ne peuvent être considérés comme représentatifs des tendances des Jawadhu Hills sur une période au-delà de 2009 à 2022. Une certaine distance doit donc être adoptée lors de la lecture de ces résultats.

Les précipitations ont d'abord été comparées à l'échelle annuelle puis à l'échelle des moussons, effectuer la même étude à ces deux échelles trouve son intérêt dans le fait que la saison des moussons correspond à la saison du *kharif* (de juin à octobre). Les Jawadhu Hills compte une voire deux rotations des cultures pendant le *kharif*. À cette période il s'agit principalement d'une agriculture pluviale, ainsi les précipitations ont un impact direct sur les activités agricoles. Une analyse à l'échelle annuelle offre une visibilité sur toute l'année et situe les précipitations des moussons par rapport aux tendances annuelles. Le déficit de 25% et l'excès de 20% ont été défini selon la nomenclature de l'IMD, leur calcul s'est appuyé sur les normales de précipitations annuelles et à l'échelle des moussons du district de Tiruvannāmalai, faute de ne pas avoir les normales des Jawadhu Hills. À l'échelle annuelle, une année est considérée excédentaire à partir de 1 255,2mm de précipitations et comme

---

<sup>16</sup> En 2020 le VBO a accueilli un nouveau responsable du service météorologique qui a collecté les données mensuelles et annuelles des précipitations de manière synthétique pour les années 2020 à 2022. Seule l'année 2019 a fait l'objet de calcul à partir des précipitations journalières comme décrit ci-dessus.

déficitaire à partir de 784,5mm. Durant l'ensemble de la mousson, une année est excédentaire à partir de 1 086,72mm de pluies et elle est déficitaire à partir de 679,2mm.

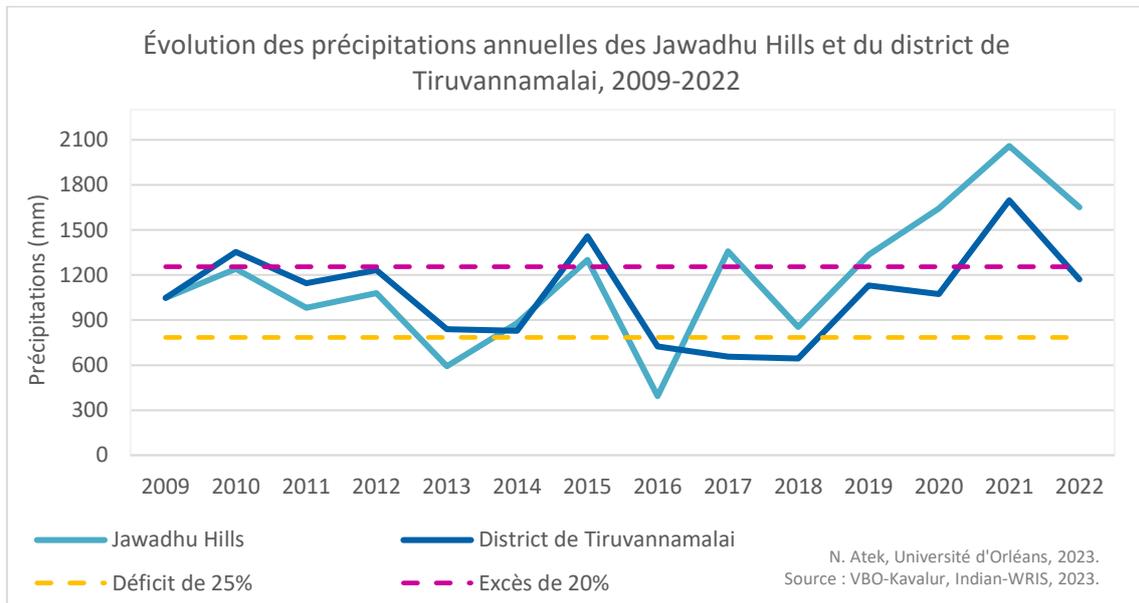


Figure 45 : Évolution des précipitations annuelles, Jawadhu Hills et district de Tiruvannāmalai, 2009-2022, source : Indian-WRIS et VBO-Kavalur, 2023

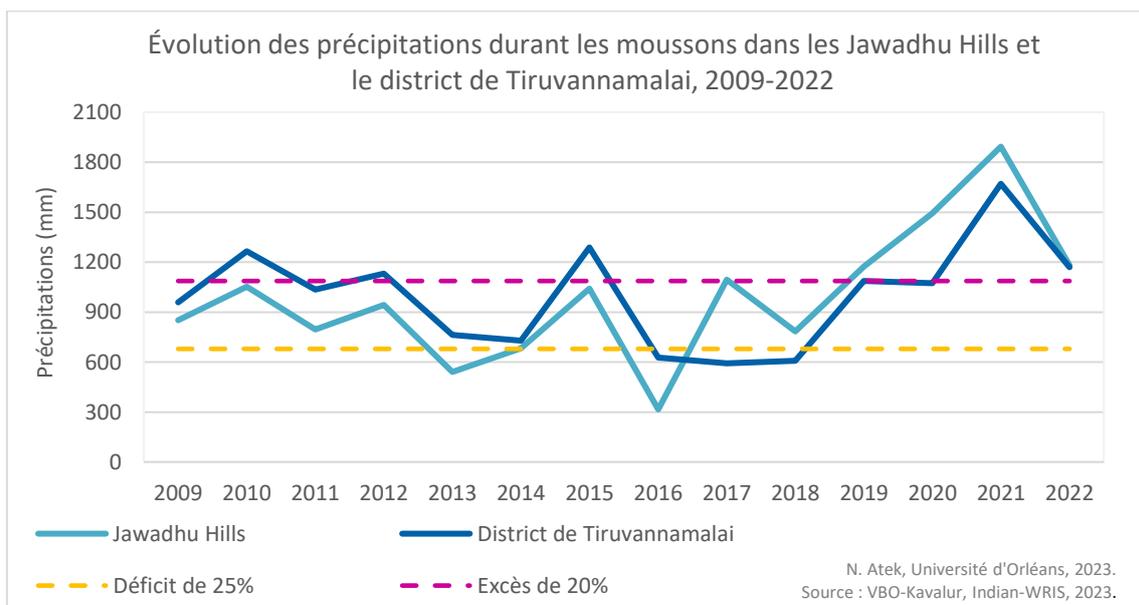


Figure 46 : Évolution des précipitations durant les moussons, Jawadhu Hills et district de Tiruvannāmalai, 2009-2022, source : Indian-WRIS et VBO-Kavalur, 2023

La première lecture des figures 45 et 46 montre un parallélisme des courbes de précipitations du district de Tiruvannāmalai et des Jawadhu Hills, observable à l'échelle annuelle et à l'échelle des moussons. Deux constats sont donc faits : les données obtenues pour le territoire des Jawadhu Hills sont plutôt représentatives du territoire et les tendances de précipitations semblent très similaires entre le district et le block. Plus globalement, un renversement des courbes est observé à partir de 2016, les précipitations du district sont supérieures à celles du bloc de 2009 à 2016 puis ce sont les précipitations du bloc qui sont supérieures à celles du district jusqu'en 2022. Ce renversement peut s'expliquer par la différence de vulnérabilité des territoires aux sécheresses. Les Jawadhu Hills sont un territoire collinaire situé à plus de 800 m du niveau de la mer, leur géomorphologie est sans doute un critère influençant positivement les précipitations. Cet élément ne permet pas de définir pourquoi à partir de ce moment-là il y a un renversement mais suggère que les caractéristiques locales des JH peuvent jouer un rôle dans son climat.

Il existe tout de même quelques différences, par exemple entre 2009 et 2022 les Jawadhu Hills connaissent, à l'échelle annuelle et à celle des moussons, deux années de sécheresse, en 2013 et en 2016 alors que le district de Tiruvannāmalai connaît trois années de sécheresse consécutives, en 2016, 2017 et 2018. Parmi les quatorze années représentées six années sont en excès à l'échelle annuelle et cinq pendant les moussons dans les Jawadhu Hills. Pour ce qui est du district, trois années sont en excès à l'échelle des précipitations annuelles et six années le sont à l'échelle des moussons. Sur quatorze années, sept ont les mêmes tendances de précipitations à l'échelle annuelle et à l'échelle des moussons dans les deux territoires cependant il ne s'agit pas des mêmes années. En effet, par rapport aux précipitations annuelles les deux territoires sont dans les normales de précipitations en 2009, 2010, 2012 et 2014, ils connaissent une sécheresse en 2016 et sont en excès en 2015 et 2021 (figure 45). Alors qu'à l'échelle des moussons, les deux territoires sont excédentaires en 2019, 2021 et 2022, ils connaissent aussi une sécheresse en 2016 et les années 2009, 2011 et 2014 sont dans les normales (figure 46). *A contrario* sept années sur quatorze n'ont pas les mêmes tendances, autant à l'échelle annuelle qu'à l'échelle des moussons : en 2010 le district de Tiruvannāmalai est en excès ; en 2013 seuls les Jawadhu Hills sont en déficit ; en 2017 les tendances des deux territoires s'opposent, les Jawadhu Hills sont en excès alors que le district

est en déficit ; en 2018 le district est en déficit ; en 2020 seuls les Jawadhu Hills sont en excès. Il est difficile de qualifier les tendances à partir de ces éléments car que ce soit à l'échelle annuelle et à l'échelle des moussons il y a autant d'années qui ont des tendances convergentes que différentes. Il est tout de même à noter qu'une seule année connaît des tendances divergentes, en 2017. Pour apporter des éléments d'analyse complémentaires une approche via la répartition des précipitations par mois à l'échelle d'une année a été réalisée. Pour cela, trois années témoins ont été choisies selon deux critères :

- Connaître les mêmes tendances de précipitations entre les deux territoires ;
- Que les trois types de tendances soit représentées : des précipitations dans les normales, déficitaires et excédentaires.

Les années 2009, 2016 et 2021 ont donc été sélectionnées, 2009 ayant des précipitations dans les normales avec 1 048mm dans les JH et 1 047mm dans le district de Tiruvannāmalai ; 2016 étant une année de sécheresse avec des précipitations annuelles de 393 mm dans les JH et 724 mm dans le district ; 2021 étant une année excédentaire avec 2 059 mm dans les JH et 1 697 mm dans le district de Tiruvannāmalai. Une fois de plus les données quantitatives sont à étudier avec distance car à partir des données disponibles certains mois les Jawadhu Hills ont reçu des précipitations alors que le district non cependant les JH font partie du district de Tiruvannāmalai donc il semble étonnant qu'aucune précipitation ne soit recensée pour le même mois d'avril (figure 47). Pourtant ce sont bien les sommes des précipitations qui ont été utilisées pour ces graphiques, que ce soit pour les JH et le district, il semble donc qu'un biais est à considérer.

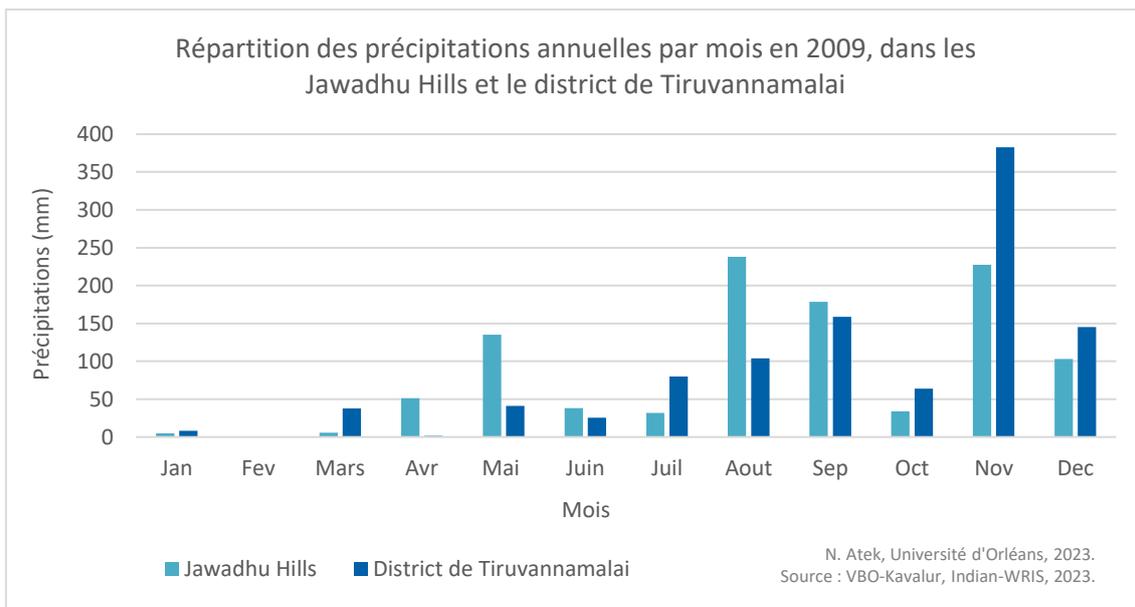


Figure 47 : Répartition des précipitations annuelles par mois en 2009, Jawadhu Hills et district de Tiruvannāmalai, source : Indian-WRIS et VBO-Kavalur, 2023

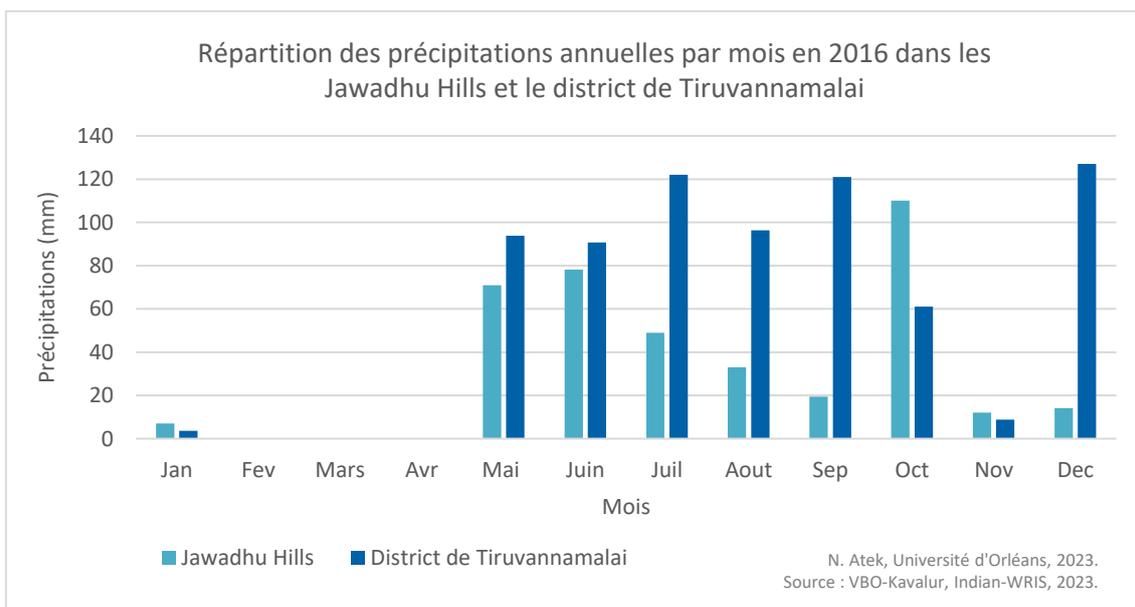


Figure 48 : Répartition des précipitations annuelles par mois en 2016, Jawadhu Hills et district de Tiruvannāmalai, source : Indian-WRIS et VBO-Kavalur, 2023

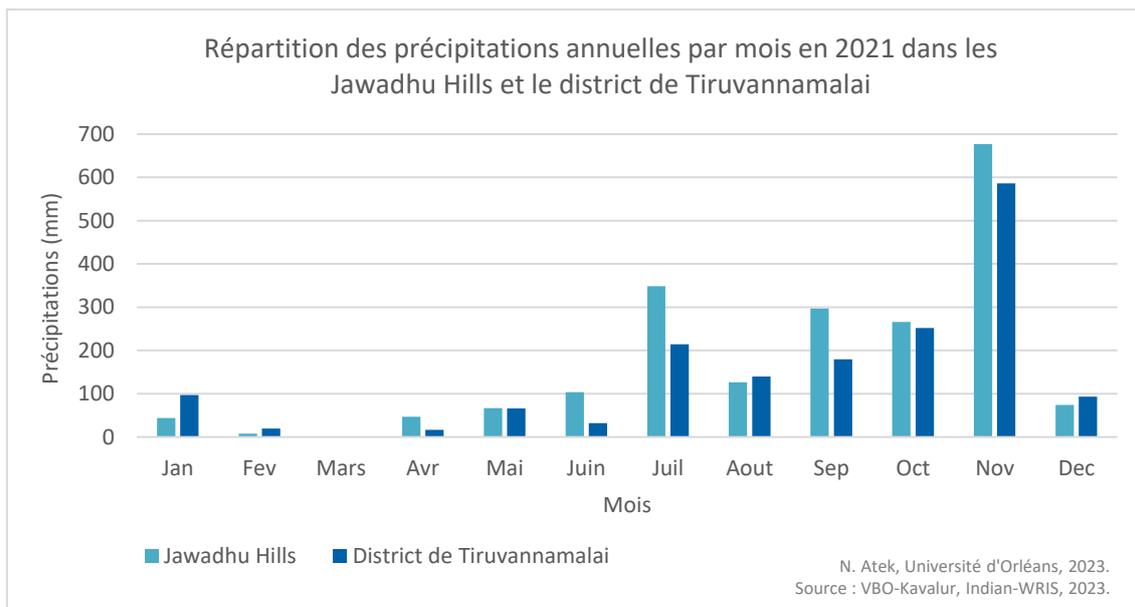


Figure 49 : Répartition des précipitations annuelles par mois en 2021, Jawadhu Hills et district de Tiruvannāmalai, source : Indian-WRIS et VBO-Kavalur, 2023

La figure 47 montre que les tendances de précipitations sont globalement les mêmes d'un mois à l'autre entre les Jawadhu Hills et le district de Tiruvannāmalai. Les mois d'août, de septembre, de novembre et de décembre ont tous plus de 100mm de précipitations sur les deux territoires. Toutefois les pics de précipitations mensuelles n'interviennent pas au même moment, pour les Jawadhu Hills c'est le mois d'août qui connaît les plus fortes précipitations mensuelles avec un total de 238mm alors que le district connaît son pic de précipitations en novembre avec 382mm de pluie.

En 2016, les deux territoires d'étude connaissent une sécheresse mais les Jawadhu Hills enregistrent un total de précipitations annuelles presque deux fois inférieur par rapport au district. Une fois de plus ici ce ne sont pas les quantités de précipitations qui font l'objet d'une analyse mais bien les tendances à l'augmentation ou à la diminution d'un mois à l'autre entre les deux territoires d'étude. Ainsi, la figure 48 est intéressante parce que des tendances opposées apparaissent entre les JH et le district. En effet, dans les JH les précipitations diminuent progressivement entre juillet et septembre alors qu'elles sont plutôt à la hausse entre mai et septembre au niveau du district. Puis, lorsque les JH connaissent une importante augmentation de précipitations en octobre ce même mois le district voit ses précipitations diminuer. Les mois de novembre et de décembre eux suivent la même dynamique sur les deux territoires, il est tout de même intéressant de noter l'important écart de précipitations qu'il y a en décembre entre les deux territoires.

La figure 49 représente la répartition des précipitations durant l'année la plus excédentaire entre 2009 et 2022 que connaissent les JH et le district de Tiruvannāmalai . Les deux territoires atteignent leur maximale de précipitations mensuelles en novembre avec 677mm de pluie dans les JH et 586mm dans le district. Les tendances à l'augmentation et à la diminution de mois en mois se suivent majoritairement dans l'année dans les deux territoires.

Malgré une étude comparative restreinte entre le district de Tiruvannāmalai et le bloc des Jawadhu Hills entre 2009 et 2022, les résultats permettent avec prudence d'affirmer que les tendances de précipitations sont les mêmes entre les deux territoires. Ainsi, comme énoncé en début de démonstration, les manifestations du changement climatique observés dans le district de Tiruvannāmalai sont extrapolées au territoire des Jawadhu Hills. Les quelques différences qui subsistent sont le reflet de plusieurs facteurs cumulés. Parmi eux il est compté la différence d'échelle des territoires d'étude et les caractéristiques locales propres au Jawadhu Hills. C'est pourquoi, le chapitre suivant s'attarde sur les éléments inhérents aux Jawadhu Hills qui complexifie l'étude des précipitations et par extension celle du changement climatique.

### 2.3.2 Les Jawadhu Hills propice aux microclimats, facteur limitant l'étude du changement climatique

Il est difficile d'étudier les Jawadhu Hills selon une approche climatologique par le manque de données sur les précipitations et sur les températures, deux indicateurs essentiels pour identifier les tendances territoriales. Pour pallier cette limite une approche empirique est adaptée à la situation. Le recueil de témoignages et d'observations apporte des éléments qui certes ne sont pas du même acabit que des données quantitatives mais offre une approche sensible de la réalité. Après trois mois de travail *in situ* et un vécu quotidien du terrain des Jawadhu Hills dans le panchayat de Jamunamarathur, quelques observations sont soulignées. Le panchayat de Jamunamarathur est situé à une altitude comprise entre 650 et 800m, la figure 50 montre les reliefs qui l'entourent. Durant les trois mois de travail de terrain continu d'avril à juin 2023 des différences de précipitations ont été observées entre le plateau où est situé Jamunamarathur et les zones plus montagneuses environnantes. À plusieurs occasions

des pluies ont été aperçues au niveau de la première ceinture de relief au nord à environ 5 km du point d'observation sans pour autant qu'il y ait de précipitations au niveau du point d'observation météorologique (voir la photographie 19 prise depuis le point d'observation le 6 mai 2023). Le point dit d'observation météorologique correspond au lieu de résidence durant les trois mois de terrain. À partir de ces observations il est supposé que les Jawadhu Hills sont composés de microclimat.

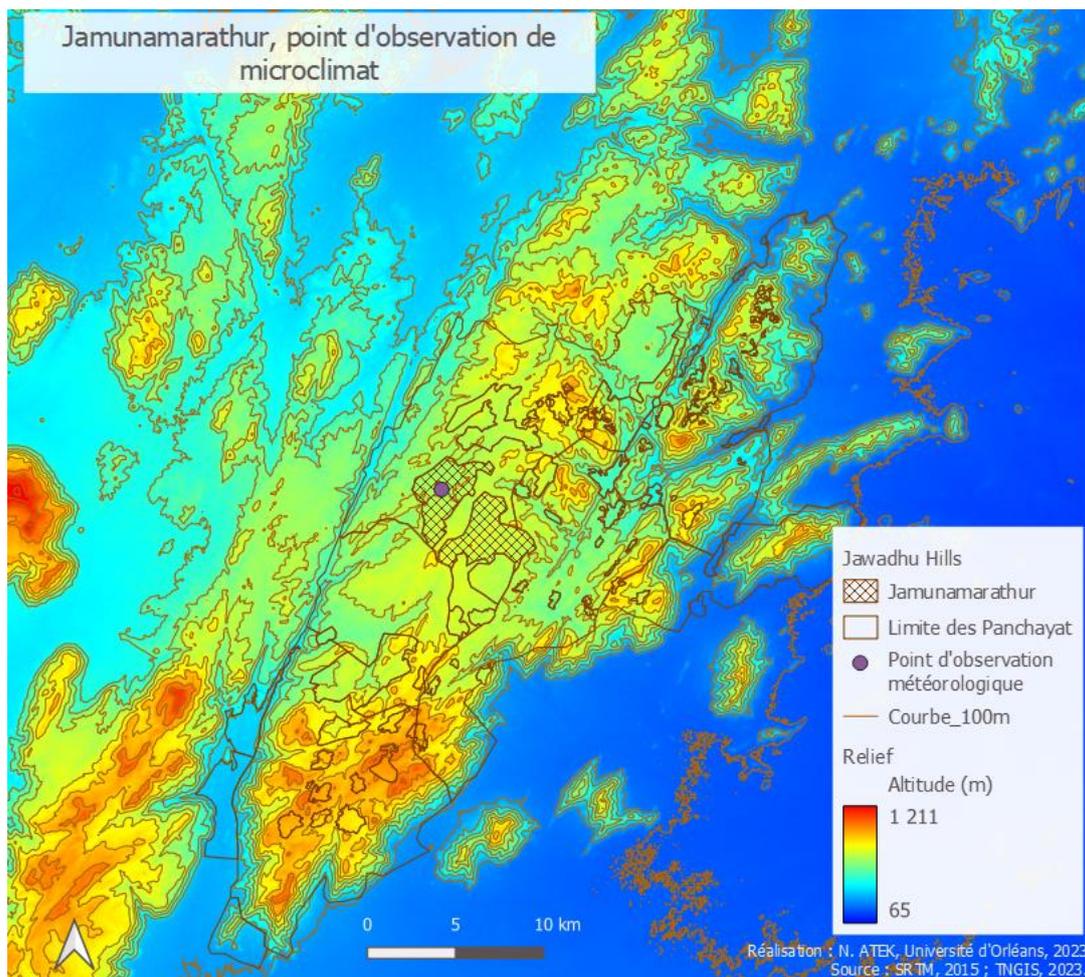


Figure 50 : Carte de Jamunamarathur, point d'observation de microclimat, source : SRTM et TNGIS, 2023



*Photographie 19 : Panchayat de Jamunamarathur (Jawadhu Hills), mai 2023, cliché N. Atek*

Alors, pour apporter des éléments de réponses à cette hypothèse, une définition du microclimat et des facteurs qui l'influencent s'impose. Selon le géographe français Maximilien Sorre (1880 – 1962), l'un des fondateurs du concept de microclimat, ce dernier serait caractérisé par « un ensemble de qualité de l'atmosphère dans un espace limité et plus ou moins complètement clos »<sup>17</sup>. Il différencie microclimat du climat local et du climat régional. D'un point de vue spatial, le climat régional serait la combinaison moyenne des états de l'atmosphère dans une aire qui comprend les climats locaux et les microclimats. Le climat local serait une échelle spatiale inférieure au climat régional et serait influencé par des facteurs topographiques, par les pentes et l'exposition. Le microclimat se soustrait plus ou moins à l'action des facteurs du climat local et concerne un plus petit espace possédant une combinaison de facteurs particuliers. Ainsi, si cette définition est appliquée au cas d'étude des Jawadhu Hills, le district de Tiruvannāmalai représente un climat régional, les Jawadhu Hills en tant qu'entité administrative sont considérés comme un climat local par rapport au district et au sein des Jawadhu Hills il existe plusieurs microclimats dus aux spécificités paysagères locales. Par ailleurs, les géographes français Alain Godard et Martine Tabeaud vont plus loin en parlant de topo-climat pour insister sur l'incidence du relief sur les précipitations. En effet, les reliefs ont tendance à augmenter la fréquence et l'intensité des précipitations en raison des

---

<sup>17</sup> Tiré de La notion de micro-climat, *Bulletin de l'association de géographes français*, 1961.

refroidissements de l'air et du phénomène d'ascendance forcée. Les vents, la distance par rapport à la mer ou océan et l'exposition des versants jouent également un rôle dans la création de microclimat. Le relief devient une ombre pluviométrique lorsqu'il coupe les vents pluvieux, qui sont dans le contexte des Jawadhu Hills, ceux du sud-ouest et du nord-est, il y aura donc des versants exposés à ces vents pluvieux, il s'agira de versant « arrosés au vent » et des versants opposés à ces flux qui seront moins exposés aux précipitations, il s'agira de versant « sous le vent ». Cependant le morcèlement du relief peut casser ce phénomène, ce qui ajoute un caractère encore plus localisé au microclimat (Godard et Tabeaud, 2009).

Enfin, le témoignage des référents locaux de la *DHAN Foundation* sur l'existence de microclimat vient appuyer les éléments énoncés précédemment. En effet, P. Anitha et J. Ganeshkumar ont plusieurs fois insisté sur la complexité du climat des Jawadhu Hills car il pouvait varier d'une vallée à l'autre. Cela a été notamment le cas lors d'une visite de terrain le 6 avril 2023 dans le village de Pallathur (Réserve de forêt de Mulakaddu) situé au nord-est des Jawadhu Hills. Les photographies 20 et 21 montrent l'enclavement de la vallée, il s'agit d'un exemple des nombreux types de paysages qui caractérisent les Jawadhu Hills.



*Photographie 10 : Village de Pallathur (Jawadhu Hills), avril 2023, cliché N. Atek*



*Photographie 21 : Village de Pallathur (Jawadhu Hills), avril 2023, cliché N. Atek*

Ainsi, l'Inde n'échappe pas aux changements climatiques, entre augmentation des vagues de chaleur et accroissement des événements climatiques extrêmes (sécheresse, pluie diluvienne, cyclone), aucunes régions restent indifférentes. Cependant il est observé des manifestations différées voire opposées selon les États indiens. En effet, composé d'une grande diversité d'écosystèmes, le deuxième pays le plus grand d'Asie est composé de différences spatiales notables dans sa vulnérabilité climatique. Le Nord fait face à de multiples épisodes d'inondation meurtriers, le Centre et le Sud connaissent des périodes de sécheresse très impactant pour la vie économique du pays et les côtes Ouest et Est subissent les cyclones de la Mer d'Arabe et du Golfe du Bengale. Le régime de précipitations indien semble être l'un des premiers rouage de la machine indienne à être touché par le changement climatique. Les mécanismes qui interviennent dans la mousson indienne et justifient sa variabilité se trouvent à deux échelles. Les premiers à l'échelle localisée liée à la géomorphologie du sous-continent indien comme la topographie, la seconde à une échelle synoptique voire planétaire avec l'intervention de forçage externe : l'ENSO et le Dipôle de l'Océan Indien. Ces deux phénomènes qui déterminent les événements climatiques des cinq continents sont composés de trois phases : neutre, négative et positive. Celles-ci interviennent dans la variabilité naturelle de la mousson indienne et parfois nouent des relations de corrélation entre leurs phases extrêmes (positives et négatives) et la création d'événements météorologiques sévères en Inde (sécheresse et pluie diluvienne). Par ailleurs, l'une des dernières étude publiée par le monde scientifique à propos du phénomène ENSO déclare que le changement climatique augmente le risque d'événements El Niño et La Niña plus sévères avec des fréquences d'apparition plus régulières ce qui entraîneraient une intensification des événements climatiques extrêmes en Inde.

La deuxième échelle spatiale d'analyse, le district de Tiruvannāmalai , connaît les mêmes tendances que celles observées à l'échelle nationale concernant les manifestations du changement climatique. En effet, l'étude climatologique réalisée à partir des données des instances indiennes, montre une augmentation des périodes de sécheresse et de leur fréquence ainsi qu'une intensification des pluies diluviennes. Les études à l'aide de l'indicateur SPI montrent une plus grande variabilité de la mousson interannuelle et intra-saisonnière ces vingt dernières années. La mousson du nord-est reste plus aléatoire que celle du sud-ouest

dans le district de Tiruvannāmalai , souvent les épisodes de très fortes pluies ont lieu durant la mousson du nord-est et les épisodes de sécheresse durant la mousson du sud-ouest. Depuis 70 ans, le territoire connaît une diminution du nombre de jour avec de faibles précipitations au profit de jours avec des pluies classées comme assez fortes (41 à 60mm/24h). Les deux dernières décennies sont aussi marquées par des records de sécheresses et de précipitations, l'année la plus sèche enregistrée étant 2002 et celle avec le plus de précipitations en 24h en 2007. Pour ce qui est du lien de corrélation entre les événements El Niño et les épisodes de sécheresse et les événements La Niña avec les épisodes de pluies diluviennes, les résultats obtenus sont moins affirmatifs par rapport au chapitre précédent. Il y a autant d'événements d'El Niño qui correspondent à des épisodes de sécheresse entre 1950 et 2022 que d'épisodes qui ne se traduisent pas par une sécheresse dans le district de Tiruvannāmalai , cette tendance est également observable entre les événements La Niña et les épisodes de pluies intenses. Il n'est donc pas possible avec cette étude de confirmer ni de réfuter l'existence d'un lien de cause à effet automatique entre les événements extrêmes ENSO et les épisodes climatiques extrêmes dans le district de Tiruvannāmalai .

Enfin, le dernier échelon d'étude spatiale, celui du territoire des Jawadhu Hills, a été grandement limité par l'indisponibilité de données météorologiques sur une étendue temporelle d'au moins 30 ans, une étude climatologique n'a donc pas pu avoir lieu. Pour tenter de répondre à la question : « Le changement climatique est-il observable dans les JH dans la mesure où la mousson est un phénomène très variable dans le temps et l'espace ? », une étude comparative des tendances de précipitations entre le district de Tiruvannāmalai et le bloc des Jawadhu Hills entre 2009 et 2022 a été réalisée. Celle-ci a révélé un parallélisme des tendances de précipitations entre les deux territoires, étant donné cette similarité, les résultats obtenus - l'intensification des épisodes de sécheresse et de pluies diluviennes dans le district pour cause du changement climatique - sont extrapolés au territoire des Jawadhu Hills. Ainsi, une réponse plutôt positive est apportée à l'observation du changement climatique dans les Jawadhu Hills. Cependant, il existe également d'importants écarts de précipitations entre les deux territoires, comme en 2017 où les JH ont enregistré un excès de plus de 20% de précipitations alors que le district de Tiruvannāmalai subissait un déficit de plus de 25% par rapport à la normale annuelle. Ces différences sont le reflet de la variabilité spatiale de la mousson, les facteurs endogènes comme exogènes aux JH jouent un rôle dans le climat local.

Par ailleurs, les observations de terrain et les témoignages des acteurs locaux ont été déterminants pour attester l'existence de microclimats dans les Jawadhu Hills, rendant plus difficile l'étude des précipitations et du changement climatique. Par conséquent, en sachant que la variabilité naturelle de la mousson est intensifiée par le changement climatique à l'échelle nationale et à l'échelle du district de Tiruvannāmalai et que les tendances de précipitations sont similaires entre le district et le bloc alors il est supposé que les événements extrêmes observés dans les JH sont le fruits d'une combinaison de la variabilité spatiotemporelle naturelle de la mousson et du changement climatique. Pour étayer cette réponse, une approche qualitative a été adoptée à travers à la réalisation d'entretiens auprès d'agriculteurs des Jawadhu Hills.

### 3. Entre perception et anticipation, l'étude du changement climatique à travers le regard des agriculteurs des Jawadhu Hills

Puisque l'existence du changement climatique dans les Jawadhu Hills n'est pas un fait entièrement avéré, les données disponibles n'étant pas suffisantes pour affirmer ou réfuter l'existence de modifications climatiques dues au changement climatique, une étude complémentaire, qualitative, a été menée. L'un des objectifs de ce mémoire est de déterminer la vulnérabilité alimentaire et climatique des agriculteurs des Jawadhu Hills : dès lors, une enquête auprès de ces derniers a été lancée. Les objectifs de cette partie sont d'identifier les perturbations d'ordre climatique observées par les agriculteurs et de relever les impacts de ces changements sur leurs pratiques agricoles, leur situation sociale et économique. Une fois les problèmes et leurs conséquences identifiés, quelles ont été les réactions des agriculteurs ? Quelles attitudes, quelles actions ont été mises en place pour atténuer ou s'adapter aux problèmes rencontrés ? Tous ces éléments sont abordés de manière thématique en trois chapitres qui s'appuient sur les résultats de l'enquête.

Après avoir présenté la méthodologie d'enquête qualitative, les résultats concernant les perturbations climatiques sont présentés. Le premier chapitre est dédié à la problématique de l'érosion du sol rencontrée dans les Jawadhu Hills. Une étude pour identifier l'origine de l'érosion est menée en croisant les données sur l'évolution de l'occupation du sol, les politiques forestières indiennes, les caractéristiques géomorphologiques des Jawadhu Hills et les témoignages des agriculteurs rencontrés. Les réactions des agriculteurs face à cette problématique ainsi que celles des acteurs locaux comme la *DHAN Foundation* qui intervient dans les Jawadhu Hills à travers son programme d'action dédié à l'anticipation du changement climatique.

Les perturbations climatiques identifiées par les agriculteurs menacent-elles leur sécurité alimentaire ? Quels impacts ont-elles directement sur leurs activités agricoles et sur leur niveau de vie ? Deux éléments notables sont ressortis : la perturbation du calendrier agricole et les enjeux autour de la gestion de la ressource en eau. Par ailleurs, la vulnérabilité alimentaire et climatique des agriculteurs différerait selon les profils agricoles. Ces nuances

sont donc discutées tout en apportant des éléments globaux d'analyses liées aux menaces entourant la sécurité alimentaire indienne.

La notion d'anticipation implique une approche prospective des futurs aléas climatiques, le troisième chapitre s'attarde sur les menaces relevées par les agriculteurs et issues des études climatologiques menées par les acteurs locaux. Anticiper l'avenir c'est aussi discuter des opportunités et des solutions adaptées au contexte local. Les agriculteurs ont donc partagé leurs visions de l'avenir de leurs activités et les attentes qu'ils avaient des acteurs locaux pour améliorer leur condition de vie et être plus résilient face aux aléas climatiques.

## 3.1 L'érosion du sol, un enjeu pour les agriculteurs des Jawadhu Hills

Étudier le changement climatique à travers une enquête auprès des agriculteurs des JH est révélateur des perturbations climatiques sur les activités agricoles. Parmi les manifestations climatiques mentionnées par les agriculteurs se trouve l'érosion du sol. Même s'il ne s'agit pas d'une manifestation du changement climatique mais plutôt d'une conséquence, les acteurs locaux s'accordent à dire qu'il s'agit d'un véritable enjeu pour les Jawadhu Hills. C'est pourquoi ce chapitre est consacré à son étude, après avoir présenté la méthodologie d'enquête adoptée et le profil des enquêtés, la place qu'occupe l'érosion du sol dans les Jawadhu Hills est étudiée. L'étude a également tenté de définir l'origine de l'érosion du sol et d'identifier les réactions des agriculteurs et des acteurs locaux face à cette problématique.

### 3.1.1 La perception des fermiers, un apport essentiel pour l'analyse du changement climatique dans les Jawadhu Hills

L'étude des manifestations du changement climatique dans les Jawadhu Hills s'est appuyée en grande partie sur la réalisation d'une enquête qualitative auprès des agriculteurs des Jawadhu Hills. En effet, les données secondaires n'étant pas suffisantes pour apporter un regard clair et étayé sur le sujet d'étude, la production de données primaires à l'aide d'un travail de terrain s'est avérée nécessaire et pertinente. Un travail mutualisé a été mené en partenariat avec Maëva Rzegoczan, étudiante en M2 Géographie à l'Université d'Orléans qui travaillait sur la filière des millets dans les Jawadhu Hills. Tous les agriculteurs interrogés devaient donc produire du millet. La volonté initiale était de réaliser au moins cinq entretiens individuels avec des agriculteurs dont les profils reflétaient l'hétérogénéité du territoire c'est-à-dire au moins un agriculteur appartenant à chacune des catégories<sup>18</sup> suivantes :

- Une grande exploitation (supérieure à 10 ha) ;

---

<sup>18</sup> Le choix des classes du foncier agricole repose sur la classification indienne présentée par Landy et Varrel dans *L'Inde, du développement à l'émergence*, 2015.

- Une moyenne exploitation (entre 4 et 10 ha) ;
- Une semi moyenne exploitation (entre 2 et 4 ha) ;
- Une petite exploitation (entre 1 et 2 ha) ;
- Une exploitation marginale (inférieure à 1 ha)
- Une exploitation située en versant ;
- Une exploitation située en plateau.

Les entretiens se sont articulés en deux parties, la première menée par M. Rzegoczan sur le suivi de la filière du millet et la seconde menée par N. Atek sur la perception du changement climatique des agriculteurs, leurs attitudes et leurs réactions face à ces changements.

Travaillant dans un territoire rural isolé, les interactions avec les étrangers n'étaient pas évidentes, d'autant que l'anglais n'est pas maîtrisé par la majorité des habitants. Alors, selon les pratiques courantes des acteurs locaux, le choix méthodologique d'enquête sur les perceptions du changement climatique s'est tourné vers la *Participatory Rural Appraisal* (PRA), une technique d'enquête principalement utilisée par les ONG pour la gestion de projet de développement rural. Cette technique de collecte de données qualitatives privilégie l'identification de problème et la recherche de solution par le peuple. Il s'agit d'une démarche *bottom-up*, la PRA est un ensemble d'outils qui permettent aux populations de s'exprimer par d'autres moyens que des outils conventionnels d'enquête comme les questionnaires. Souvent organisée sous forme d'atelier d'échange, de concertation et de création, il existe divers supports et techniques en fonction de l'objet d'étude ou du but recherché. Sous forme de petit groupe de travail de 5 à 8 membres, les participants se réunissent sur le terrain autour d'un *facilitator* qui a la charge de l'animation de l'atelier à l'aide de supports photographiques, de papier etc. En fonction de l'objectif de l'atelier le *facilitator* choisit les outils les plus adaptés pour inciter les participants à l'expression et l'échange (DPI, 2007). Aujourd'hui, il existe de nombreux écrits proposés par des ONG et institutions détaillant les méthodologies de PRA, il s'agit d'un outil évolutif et adaptable aux problématiques et enjeux locaux. Le principe étant de proposer un espace ouvert à tous, au service des participants. En effet, les résultats doivent ensuite revenir aux participants et servir leurs intérêts dans une poursuite d'action ou de réflexion (NIAEM, 2007). Dans le cadre de cette enquête, la technique de PRA a été adaptée à la trame d'entretien dédié au changement climatique qui se composait de trois thèmes (le 1<sup>er</sup> thème étant celui réservé au profil des enquêtés) :

- Thème 2 : Perception des manifestations dues au changement climatique dans le quotidien et impact sur les activités agricoles ;
- Thème 3 : Réaction des agriculteurs dans leurs pratiques agricoles ;
- Thème 4 : Menaces climatiques et solutions d'amélioration des conditions de travail face au changement climatique.

La trame d'entretien suivait une logique itérative voir *annexe 7 : Grille d'entretien p.216-218*, le premier objectif était d'identifier les changements d'ordre climatique observés par les fermiers dans leur environnement de travail, ensuite il s'agissait de relever les impacts de ces événements sur leurs activités agricoles. Puis en réponse aux problématiques rencontrées les réactions des fermiers ont été recensées. Enfin dans une démarche de prospection, il leur a été demandé d'imaginer leurs activités agricoles futures, les menaces qui pèsent sur elles et les solutions qui pourraient les aider à surmonter les problèmes rencontrés. L'étude cherchait à valider l'hypothèse que les principaux changements climatiques observés par les agriculteurs des JH sont l'intensification des aléas météorologiques (sécheresse, pluie intense, cyclone) et la hausse des températures.

L'outil relevant d'une technique PRA a été « l'arbre à problème / à solution ». L'enquête s'est déroulée en deux temps, la réalisation d'un entretien semi-directif selon la grille d'entretien établie en amont et la réalisation en parallèle d'un schéma synthétisant les réponses apportées par l'enquêté sous la forme d'arbre à problème et à solution selon le schéma de la figure 51, la photographie 22 montre un exemple de schéma réalisé lors d'un entretien.

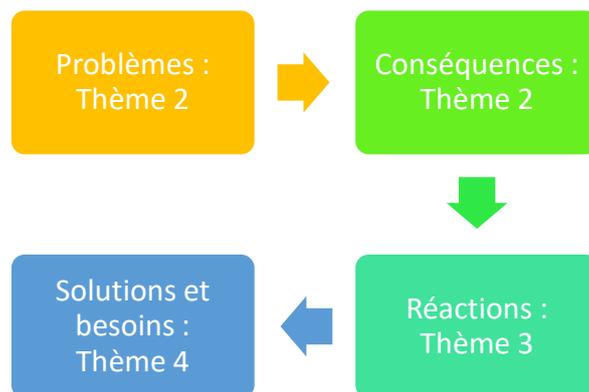
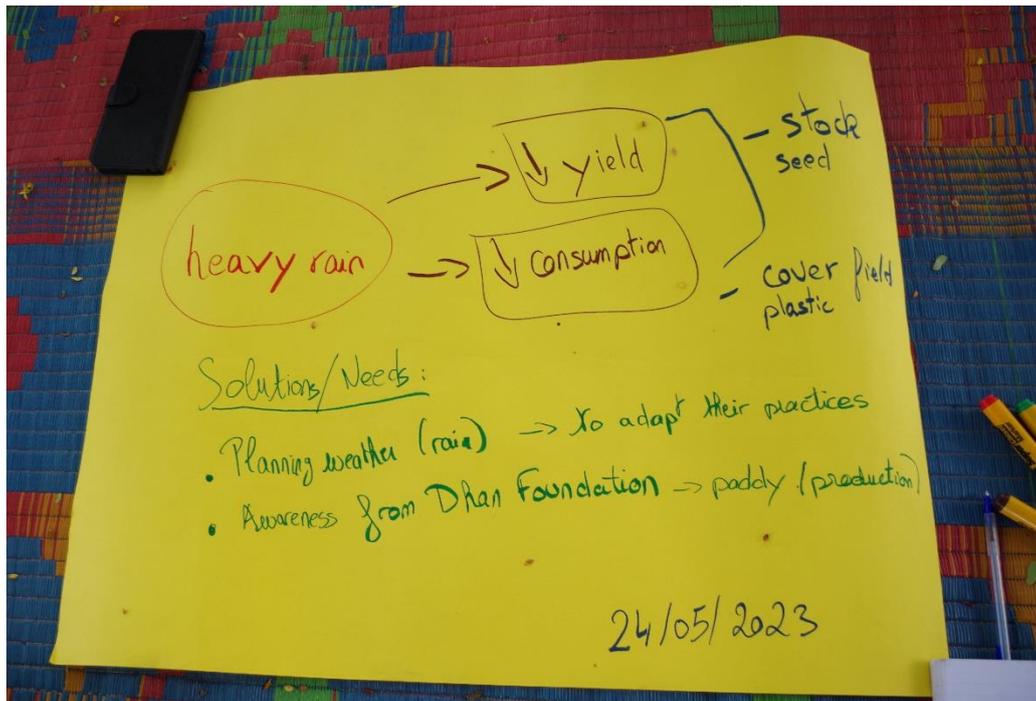


Figure 51 : Schéma de l'arbre à problème/solution selon la grille d'entretien, N. Atek, Université d'Orléans, 2023



Photographie 22 : Arbre à problème/solution réalisé lors de l'entretien de groupe dans le village de Pudupattu (Jawadhu Hills), 24 mai 2023, cliché de N. Atek

Toutefois l'application de cette méthodologie et de l'enquête dans son ensemble a connu quelques limites. Tout d'abord, l'étude de terrain s'est confrontée à un désaccord d'ordre méthodologique avec la *DHAN Foundation*, car il était convenu à l'origine de réaliser des enquêtes auprès d'individus et non de groupes comme le souhaitait la DF. En effet, les besoins de l'enquête nécessitaient des données précises notamment sur le calendrier agricole des agriculteurs, la réalisation d'ateliers de groupes aurait signifié une perte importante de résultats et engendré une base de données généralisées à des groupes. De plus, dans le cadre du programme PATAMIL deux terrains agricoles ont fait l'objet d'étude agronomique par le laboratoire GÉHCO en amont de l'enquête, ces deux terrains devaient naturellement constituer les premiers entretiens individuels. Un terrain d'entente a été trouvé, via la réalisation d'entretiens individuels et de groupes, sur les six entretiens réalisés deux étaient en groupe et quatre individuels. Par ailleurs, la disponibilité du partenaire local a été également un frein pour la réalisation de l'enquête, en effet les référents locaux qui travaillaient depuis cinq ans sur le territoire ont été mutés à Madurai mi-avril (située à 400km au sud des Jawadhu Hills). Leur remplacement n'a pas été immédiat et une fois en place le

nouveau référent n'était pas pleinement disponible et sa connaissance du territoire limitée. Par conséquent, la réalisation des entretiens a tardé et limité leur nombre. Enfin, une dernière difficulté a été la barrière de la langue, chaque entretien a été réalisé avec au moins un référent local de la DF pour traduire de l'anglais au tamoul les questions. En plus de la *DHAN Foundation*, la post-doctorante S. Manjubarkhavi de l'Université de Madras (Chennai) a également assuré la traduction de quelques entretiens. La collecte de données se faisait donc du tamoul à l'anglais puis pour les besoins de l'analyse les résultats étaient traduits de l'anglais au français. Les questions posées étaient souvent simplifiées par les traducteurs ce qui ajoute des imprécisions aux résultats obtenus. D'ailleurs il a été préféré de réaliser un tableau synthétisant les résultats plutôt qu'une retranscription littérale qui n'aurait eu que peu de sens, voir *annexe 8 : Tableau de synthèse des résultats d'enquête menée dans les Jawadhu Hills auprès des agriculteurs p.219-223*. L'application de la technique de PRA a été également grandement limitée par la barrière de la langue et n'a pas été aussi riche en interaction qu'espérée. Le fait d'être étrangère a pu également provoquer une forme de retenue auprès de certains agriculteurs.

Les six entretiens ont eu lieu entre le 10 mai et le 3 juin, ils ont tous été réalisés sur le terrain, soit sur l'exploitation de l'enquêté soit sur la place du village, voir photographie 25. Parmi les six entretiens, deux ont été réalisés avec des groupes d'agricultrices, l'un avec cinq femmes (G1) l'autre avec huit femmes (G2). Les quatre entretiens individuels étaient avec des hommes. Le temps des trajets pour se rendre auprès des agriculteurs variait en fonction de l'état des routes et des véhicules utilisés (photographie 23). Par exemple, pour se rendre au village de Melpuligankuppam au nord des JH (agriculteur A, photographie 24), il a fallu environ 1h30 de moto en passant par des routes et des chemins très endommagés par la pluie. Ce fut le trajet le plus long effectué pour réaliser un entretien durant la phase de terrain. Pour les entretiens B à Kovilur, G1 et G2 la post-doctorante S. Manjubarkhavi accompagnée de son mari était présente ainsi que P. Ganeshkumar et K. Moorthy, les déplacements se faisaient à moto et en voiture et les trajets étaient de moins de 45min. La voiture du SUHAM a été empruntée lorsque le nombre de véhicules n'était pas suffisant, d'ailleurs le pharmacien de la clinique a assuré la traduction de la première visite de terrain de l'agriculteur C le 25 avril 2023 car aucun référent de la *DHAN Foundation* n'était disponible. La durée des entretiens variait entre 1h30 à 2h, bien souvent ces moments *in situ* ont été l'occasion de partager un moment de

convivialité avec les habitants autour de mets locaux (noix de coco et fruit du jacquier) et lors de cérémonie (mariage). La prise de note des entretiens était manuscrite, elle était ensuite retranscrite sur un ordinateur et mise en commun avec M. Rzegoczan avant d'être analysée, un entretien demandait à minima une journée de traitement.



*Photographie 23 : Chemin d'accès pour aller à Melpuligankuppam endommagé par les pluies, mai 2023, cliché N. Atek*



*Photographie 24 : Agriculteur A à gauche avec son frère, montrant une charrue en fer (Melpuligankuppam), mai 2023, cliché N. Atek*



*Photographie 25 : Entretien de groupe avec S. Manjubarkavi (Jawadhu Hills), 24 mai 2023, cliché du mari de S. Manjubarkavi*

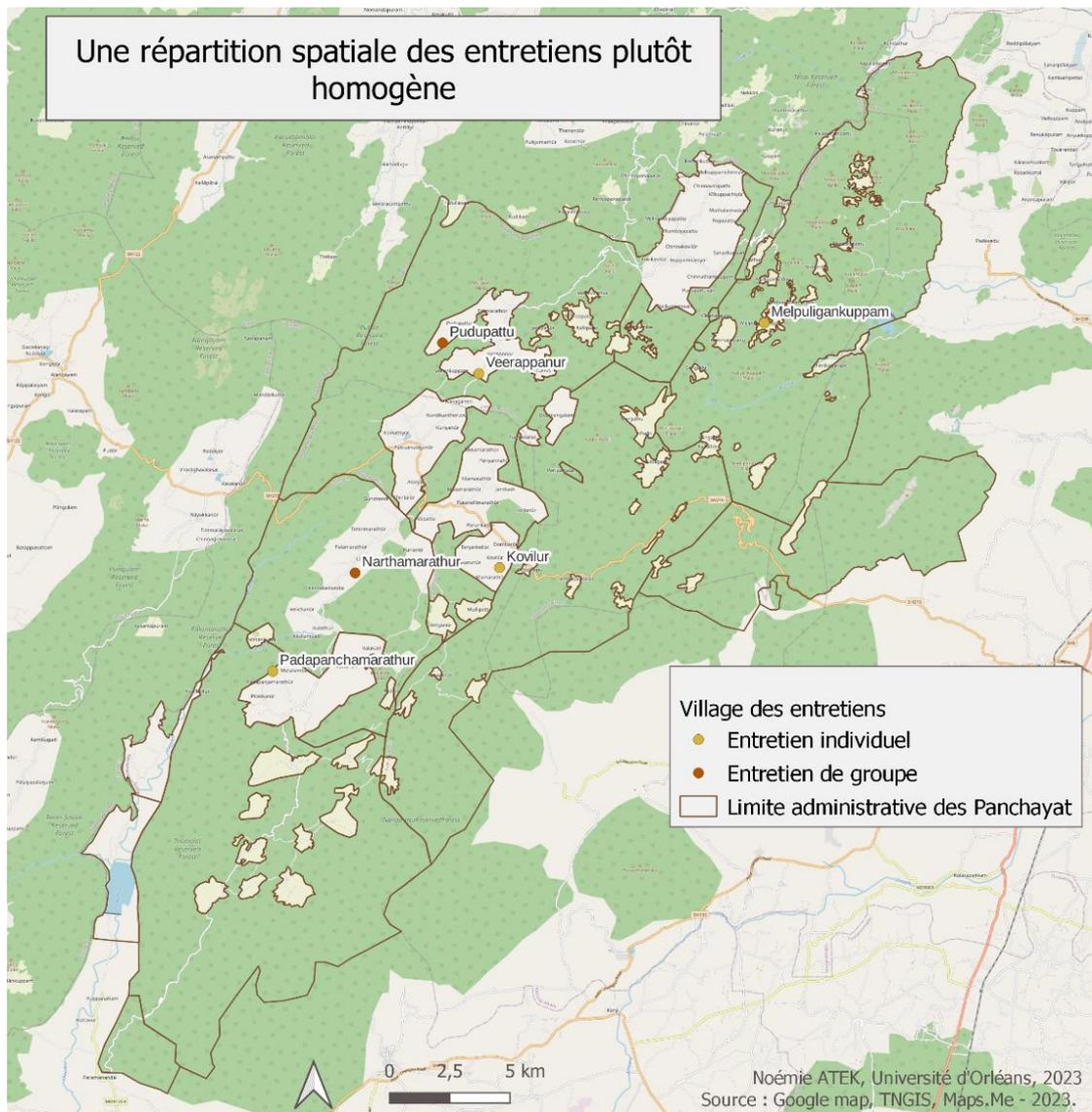


Figure 52 : Carte localisation des entretiens dans les Jawadhu Hills, N. Atek, Université d'Orléans, 2023

Tous les agriculteurs rencontrés sont propriétaires de leurs terres, parmi les quatre agriculteurs individuels interrogés, la moitié ont une exploitation comprise entre 1 et 2 ha, un agriculteur a une exploitation classée comme marginale et l'exploitation la plus grande est de 4 ha, elle est considérée comme une exploitation moyenne. En ce qui concerne les deux groupes d'agricultrices, ils s'agissaient d'exploitations classées comme marginales et petites. La figure 52 montre une répartition spatiale plutôt homogène de la localisation des entretiens, la diversité topographique des exploitations agricoles est représentée. Cependant il aurait été préférable de rencontrer davantage d'agriculteurs situés en haut de versant dans les zones à reliefs des Jawadhu Hills. En effet, sur six entretiens quatre sont situés sur une plaine et deux en versant (agriculteur A et D). L'agriculteur D n'a qu'une partie de ses parcelles situées en

versant et l'exploitation de l'agriculteur A se situe en début de versant à environ 650m d'altitude.

En ce qui concerne les cultures des enquêtés les données individuelles dans les groupes d'agricultrices n'ont pas pu être collectées, les résultats sont donc généralisés au groupe sauf dans le cas où des nuances ont été apportées. Le premier constat en matière d'activités agricoles est que les deux cultures dominantes sont les millets et le riz, tous les agriculteurs rencontrés produisent du millet et du riz sauf les deux groupes interrogés qui ne produisent pas de riz. La production du petit mil est dominante puisque 100% des agriculteurs produisent du *Saamai* en agriculture pluviale. Le *Ragi* (éleusine cultivée) est la deuxième variété de millet la plus cultivée (photographie 26) pendant la mousson (4 sur 6 enquêtés) et un seul agriculteur cultive du *Kambu* ou *Cumbu*, c'est à dire du millet perlé en agriculture pluviale.



Photographie 26 : Eleusine cultivée par l'agriculteur D (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché de N. Atek

Le riz qui est produit est essentiellement une culture irriguée pendant la saison sèche, exceptée pour les deux plus grosses exploitations situées dans les villages de Veerappanur et Padapanchamarathur dans lesquelles le *paddy* peut être cultivé toute l'année, sans système d'irrigation pendant la mousson. Le troisième type d'agriculture le plus présent est celui des

*contract crop* ou culture dite intégrée qui fait l'objet d'un contrat entre une entreprise et l'agriculteur. L'entreprise fournit à l'agriculteur des graines et de l'engrais chimique et achète l'intégralité de la production pour l'exporter à l'internationale. Parmi les deux groupes d'agricultrices, quatre possèdent des *contract crop* de coton et de cornichon et trois agriculteurs cultivent également des cornichons. Les légumineuses comme le *horsegram* sont produites en agriculture pluviale par 50% des enquêtés tandis que seules les deux plus grandes exploitations produisent des légumes en culture irriguée tels que des tomates, aubergines, haricots et piments. Dans la majorité des cas les agriculteurs possèdent des arbres fruitiers pour leur propre consommation comme les manguiers, goyaviers et cocotiers. En cas de surplus ils vendent leurs fruits.

Pour identifier les manifestations du changement climatique dans les Jawadhu Hills il a été demandé aux agriculteurs de nommer les changements d'ordre climatique qu'ils ont observé dans le cadre de leur activité. La figure 53 montre les réponses des agriculteurs à la question : « Au cours de votre vie qu'avez-vous observé comme changement (climatique) majeur dans votre environnement de travail ? » Les épisodes de fortes pluies apparaissent comme l'observation climatique la plus marquante relevée par tous les agriculteurs puis se sont les épisodes de sécheresse pendant la mousson qui ont été mentionnés lors de trois entretiens dont un qui a daté la sécheresse de 2015-2016. Pour rappel des éléments étudiés dans la partie 2.3.1 montrent que la sécheresse de 2016 est la plus sévère que les Jawadhu Hills ait connu entre 2009 et 2022, avec 393 mm de précipitations annuelles pour une normale de 1 046 mm. Bien que l'érosion du sol soit non pas une manifestation du changement climatique mais une conséquence, elle est tout de même nommée lors de la première question. Là est l'une des limites de la traduction car l'érosion du sol est une observation d'ordre climatique pour les agriculteurs mais au regard de la présente étude il s'agit d'un impact des fortes pluies qui elles relèvent des manifestations climatiques. Cependant les origines de cette érosion du sol semblent plus complexes que la simple relation de cause à effet avec les épisodes de fortes pluies. Même si ce problème n'est pas relevé par la majorité des enquêtés (deux sur six), les référents locaux ont insisté sur le fait que l'érosion du sol est l'un des principaux enjeux environnementaux et agricoles des Jawadhu Hills. C'est pourquoi,

une étude a été menée pour essayer d’apporter des éléments de réponse sur l’origine de l’érosion du sol dans les Jawadhu Hills.

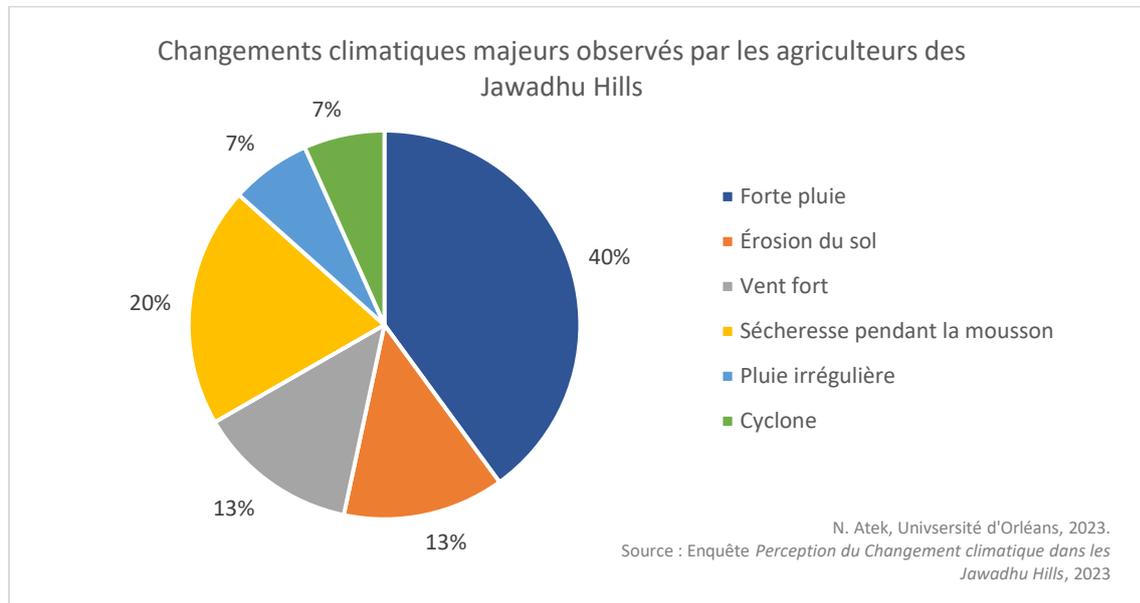


Figure 53 : Changements climatiques majeurs observés par les agriculteurs sur leurs activités, N. Atek, 2023, , source : Enquête auprès des agriculteurs des JH, 2023

### 3.1.2 Les Jawadhu Hills, un territoire sensible à l’érosion du sol : vulnérabilité territoriale, cause du changement climatique ou origine anthropique ?

L’érosion du sol est l’une des principales cause de dégradation des terres en Inde. En 2010, plus de 2,3 millions d’hectares de terres agricoles ont été dégradées à cause de l’érosion du sol dans le Tamil Nadu sur les 92,4 millions d’hectares de terres touchées par l’érosion du sol en Inde (*Indian Council of Agricultural Research, National Academy of Agricultural Sciences, 2010*). Le sol est un milieu naturel d’interface entre la biosphère et la lithosphère. Sa formation est issue de la dégradation de la matière organique par les organismes vivants dans le sol et à sa surface (biosphère) et l’altération des roches qui apporte la matière minérale (litosphère) (INRAE, 2022). Organisé en différent horizons, la formation du sol est un processus complexe et lent mettant en jeu un certain nombre de paramètres naturels et anthropiques. Le phénomène d’érosion du sol peut être qualifié comme un processus de détachement et de

transport de sédiments (particule solide du sol) depuis leur lieu d'origine. En Inde, 29% de ces sédiments vont dans la mer, 10% sont déposés dans des réservoirs affaiblissant la capacité de réserve en eau, le reste des sédiments continue à se déplacer (Saroaha et Ambedkar, 2017). La FAO et l'UNEP dans un projet dédié à la dégradation des sols déterminent trois catégories d'érosion des sols : l'érosion hydrique, l'érosion éolienne, l'érosion glaciaire (Jana, 2015). Ici l'érosion hydrique et l'érosion éolienne sont traitées car ce sont les principales formes d'érosion que connaissent les JH.

L'érosion hydrique représente le type d'érosion du sol le plus répandu en Inde, elle est causée par des épisodes de fortes pluies. L'intensité des pluies, le climat, la topographie, la couverture du sol et ses caractéristiques déterminent la sévérité et la nature de l'érosion hydrique. Celle-ci a plusieurs qualifications qui diffèrent selon la manière dont l'eau dégrade le sol : la *splash erosion*, la *sheet erosion* et la *rill erosion*<sup>19</sup>. Pour ce qui est de l'érosion éolienne, la quantité de sédiments déplacés dépend de la vitesse du vent, du degré de sécheresse du sol, du volume de sédiments déjà présent sur le sol et de la couverture du sol. Par exemple, un sol avec de la végétation a moins de risque de connaître une érosion par le vent qu'un sol nu (Saroaha et Ambedkar, 2017). L'érosion du sol est un phénomène naturel qui est accentué par les activités humaines. Parmi les facteurs aggravant la déforestation est souvent mentionnée. En effet, les arbres protègent le sol de l'impact des gouttes soit en cassant leur vitesse soit en la supprimant, de plus les racines retiennent les sédiments évitant ainsi leur déplacement, de plus les arbres favorisent l'infiltration de l'eau dans le sol réduisant le phénomène de ruissellement. Le surpâturage est un facteur aggravant car le fait que les animaux se nourrissent au même endroit pendant une longue période exercent une pression sur le sol qui devient alors nu et donc plus sensible à l'érosion éolienne et hydrique. Les pratiques agricoles jouent également un rôle dans l'augmentation de la sensibilité des sols. Par exemple, la pratique du labourage dans le sens de la pente favorise la création de rigoles propices à la formation de canaux lors de fortes pluies, l'usage de matériaux lourds ajoute également une pression sur le sol (Saroaha et Ambedkar, 2017). Par ailleurs un labourage excessif casse la structure du sol et réduit sa diversité organique (Chambre de l'Agriculture

---

<sup>19</sup> La *splash erosion* est caractérisée par la décomposition du sol en sédiment lors de l'impact des gouttes d'eau sur le sol. L'accumulation de grande quantité d'eau forme une couverture sur le sol et ruisselle dans le sens de la pente, ce processus est appelé *sheet erosion*. Encouragée par la vitesse de l'eau et la topographie du terrain, la formation de ruisseau peut avoir lieu, il s'agit de *rill erosion*.

d'Occitanie, 2017). La culture sur des pentes de plus de 15% n'est pas recommandée sauf si les pratiques agricoles sont adaptées au terrain (culture en terrasse), la pente favorise la vitesse de l'eau lors de fortes pluies et l'agriculture conventionnelle fragilise les sols. L'érosion du sol provoque donc une perte de la surface du sol, essentielle pour l'activité agricole. À partir de ces éléments plusieurs hypothèses ont été établies :

- Les forêts notamment de versant ont reculé au profit des espaces agricoles ou urbanisés dans les Jawadhu Hills ;
- L'érosion du sol est plus forte sur les exploitations en pente que sur les plateaux dans les Jawadhu Hills ;
- Le Jawadhu Hills sont particulièrement sensibles à l'érosion du sol à cause de leurs propriétés paysagères, des pratiques agricoles et des épisodes de fortes pluies.

Lors des entretiens, deux agriculteurs sur six ont révélé avoir rencontré des problèmes d'érosion sur leur exploitation, ce qui concerne une exploitation marginale (l'agriculteur A) et une exploitation moyenne (l'agriculteur D). L'un cultive du petit mil et du riz, l'autre possède des manguiers sur les parcelles qui subissent une érosion du sol. Les deux agriculteurs utilisent des intrants chimiques si nécessaire, dans le cas d'une pluie insuffisante ou d'un manque de fertilité, mais le recours à ces produits n'est pas automatique. L'agriculteur marginal utilise une charrue en fer à traction animale pour ses petites parcelles et un tracteur pour sa plus grosse parcelle alors que le second agriculteur utilise une charrue en bois à traction animale, les deux fermiers privilégient le labourage horizontal par rapport à la pente. Pour comprendre l'origine de la sensibilité de leurs parcelles à l'érosion il leur a été demandé si celles-ci ont subi une déforestation ou autres pratiques agricoles particulières (pâturage, labourage dans le sens de la pente...). Les deux agriculteurs ont relevé qu'eux-mêmes n'avaient pas pratiqué de déforestation mais que ce type de pratique avait eu lieu il y a 30-40 ans, lorsque le Gouvernement a donné ces terres à leur famille.

Pour en savoir plus à ce sujet une synthèse des politiques forestières de l'Inde a été réalisée à partir des données fournies par la FAO. La première politique forestière adoptée par le Gouvernement colonial britannique date de 1894, ses principaux objectifs étaient « d'assurer le maintien d'un couvert forestier adéquat pour le bien-être général du pays, de répondre aux besoins des populations locales et, après avoir satisfait les besoins locaux, de collecter un maximum de revenus ». Les deux guerres mondiales ont fortement dégradé la

ressource forestière indienne alors la priorité de la première politique forestière indienne post indépendance, en 1952, a été de reforester l'Inde, avec un objectif de 33% de couvert forestier à l'échelle nationale. La seconde moitié du XXe siècle est marquée par une forte croissance démographique en Inde passant de 390 millions en 1950 à 1 milliard d'habitants en 2001 et 1,4 milliards en 2023, elle se traduit par une augmentation de l'utilisation des forêts pour du bois de chauffe, la construction, l'extraction de produits forestiers non ligneux<sup>20</sup> et l'agriculture. Malgré la loi sur la conservation de la forêt en 1980, son application par les États était plus ou moins stricte. Dans un contexte de révolution verte, les États indiens cédaient des espaces forestiers aux populations pour la conversion en terre agricole, ce qui confirme les données recueillies lors des entretiens. Cette loi fut modifiée en 1988, obligeant « les États à prendre l'approbation du Gouvernement de l'Inde avant le détournement de toute terre forestière à des fins non forestières avec une disposition pour le reboisement compensatoire de préférence sur une zone non forestière ». Un an plus tôt le Premier Ministre indien défend la nécessité d'impliquer les populations locales dans la protection et la gestion de la forêt. Cette volonté est officialisée en juin 1990 par le Ministère de l'environnement et des forêts du gouvernement indien dans une directive qui propose l'implication des populations à travers la création de comité villageois de développement. Cette gestion conjointe des forêts entre Gouvernement et populations locales a été peu à peu renforcée par les lois qui ont suivi afin de soutenir les activités des tribus et autres populations marginales dépendantes de la forêt tout en assurant une gestion durable (FAO, 2003). Afin de savoir si cette période de déforestation pour l'expansion de terres agricoles est observable dans les Jawadhu Hills, une étude comparative des images satellites a été réalisée. La figure 54 montre sur la gauche une image satellite de 1984 des Jawadhu Hills et sur la droite une image de 2022, l'image de 1984 présente quelques nébulosités qui rendent difficile sa lecture. Cependant les grands ensembles forestiers ne semblent pas avoir connu de réductions significatives entre 1984 et 2022. À partir de ces images il est donc difficile d'affirmer que les Jawadhu Hills ont connu une période de déforestation marquée et l'accès à des images satellites antérieures est limité. Il est donc seulement possible de supposer que dans les années 1970-1980 le Gouvernement du Tamil Nadu a donné des terrains forestiers à la population locale des JH pour leur conversion en terre agricole. Il est à noter que les Jawadhu Hills sont un territoire isolé peu

---

<sup>20</sup> Correspond aux autres services et produits issus des forêts qui n'impliquent pas l'exploitation du bois.

peuplé ce qui signifie que dans la mesure où le Gouvernement aurait donné des terres aux habitants il n'est pas sûr que ce phénomène soit visible à l'échelle des JH mais plutôt à l'échelle d'une exploitation. Cette analyse a été tentée via les imageries satellites de 1984 et 2022 sur *Google Earth* à l'échelle des deux exploitations concernées mais les données satellites ne sont pas traitables.

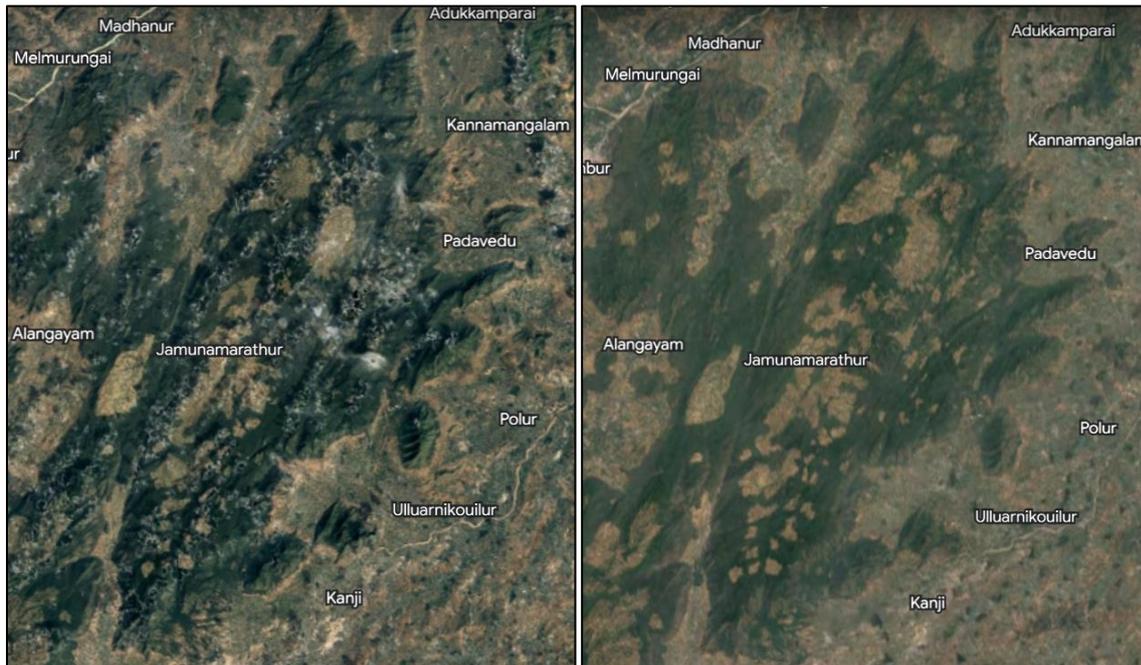


Figure 54 : Image satellite des Jawadhu Hills, 1984 à gauche et 2022 à droite, source : Google Earth, Landsat

Pour compléter ces images, une recherche sur l'évolution de l'occupation du sol dans les JH a été menée. La carte d'occupation du sol la plus ancienne mise à disposition par le Gouvernement indien date de 2005, alors l'étude de l'évolution de l'occupation du sol s'est concentrée sur une comparaison sur 10 ans, entre 2005 et 2015 (figure 55). Même si l'amplitude temporelle n'est pas très large une augmentation des terres agricoles est constatée sur 10 ans, se sont en particulier les territoires semi-ouvert broussailleux qui selon les données fournies ont disparu au profit de terre en jachère. Ces dernières sont des terrains cultivés une partie de l'année et l'autre partie de l'année sont en jachère, cela concerne la plaine au centre et au sud des Jawadhu Hills et les espaces montagneux du Nord-Est. La forêt n'a *a priori* pas reculé ou avancé, ce qui correspond aux politiques forestières actuelles qui autorisent seulement l'exploitation des ressources non ligneuses par les populations tribales.

## Une nette augmentation des terres agricoles en 10 ans dans les Jawadhu Hills (JH)

Occupation du sol des JH en 2005

Occupation du sol des JH en 2015

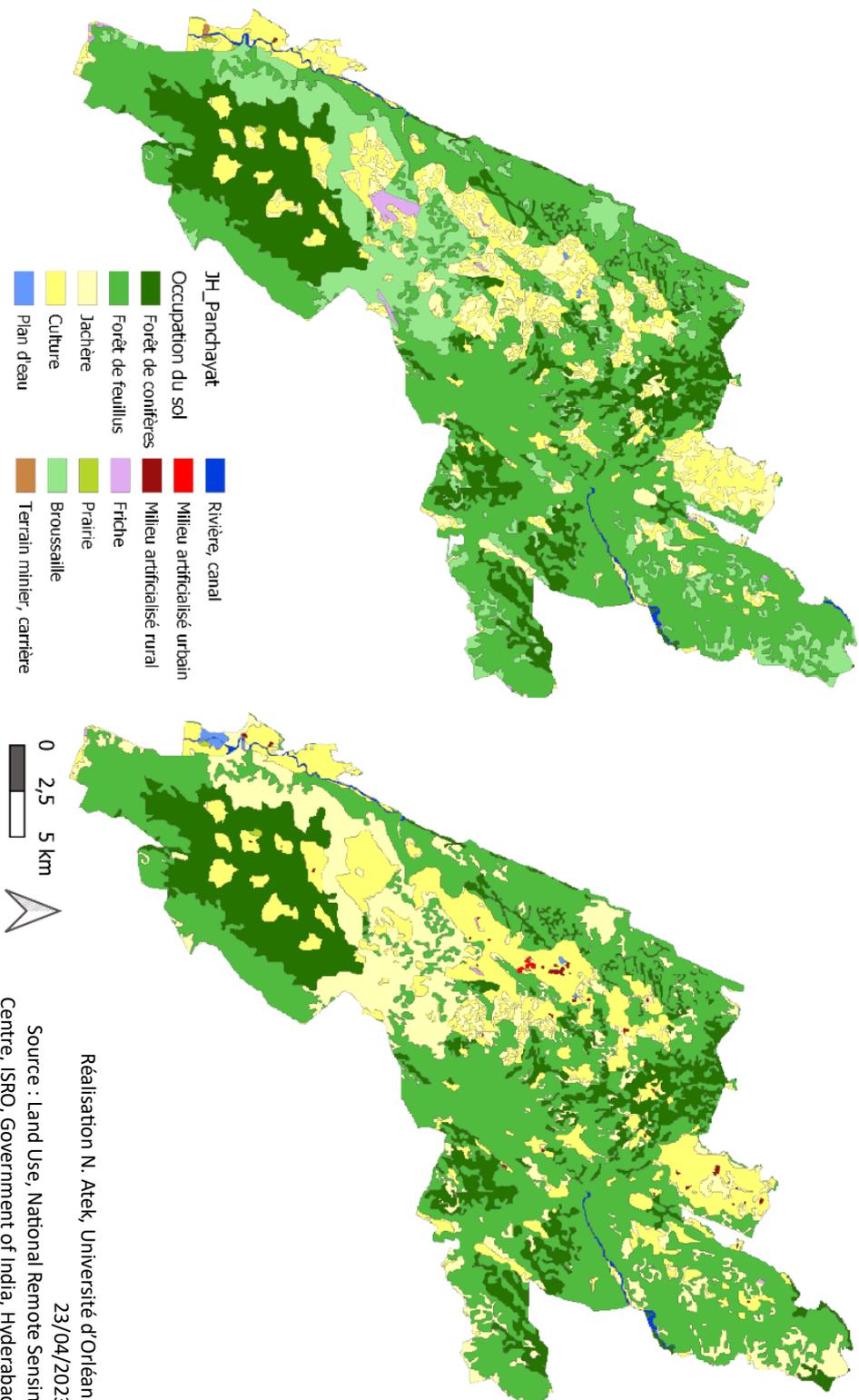


Figure 51 : Carte évolution de l'occupation du sol dans les Jawadhu Hills. Source : Land Use, National Remote Sensing Centre, ISRO, Government of India, Hyderabad, India, 2005 et 2015

Pour l'instant, le croisement des politiques forestières indiennes avec les entretiens des agriculteurs et les informations cartographiques disponibles laisse supposer qu'il y a eu une période de déforestation dans les Jawadhu Hills dans les années 1970-1980 pour l'expansion de terres agricoles mais il ne permet pas d'aller plus loin dans l'analyse. Qu'en est-il de la relation entre les zones sensibles à l'érosion du sol dans les Jawadhu Hills, l'occupation du sol et le relief du territoire ? Les JH sont sujets à l'érosion du sol hydrique de manière modérée ou sévère en fonction des espaces concernés. La figure 56 montre que les zones sensibles à l'érosion du sol dans les JH concernent majoritairement les espaces agricoles. Seule l'érosion du sol par ruissellement dite *sheet erosion* est mentionnée par le Gouvernement indien en 2015, cependant comme nous l'avons vu dans la partie 2.3 les JH connaissent des épisodes de fortes précipitations alors il est considéré que les autres formes d'érosion hydrique sont également présentes dans le JH. L'érosion du sol modérée est plutôt recensée dans les espaces de plaines à faible pente<sup>21</sup> de 1 à 14 % alors que les pentes plus raides de 15 à 59 % voire très raides supérieures à 60 % sont plutôt sensibles à une érosion sévère (figure 57). Au vue de ces éléments, l'érosion des sols apparaît comme un problème fortement lié à l'activité agricole et aux reliefs des Jawadhu Hills. Les activités humaines couplées aux caractéristiques naturelles des JH forment donc un terrain propice à l'érosion hydrique, directement liée aux épisodes extrêmes de précipitations que connaissent les JH. Il est également possible que les terres agricoles situées sur de fortes pentes aient connu une déforestation dans les années 70 – 80 due à des politiques forestières souples en matière de conversion du patrimoine forestier en terre agricole.

---

<sup>21</sup> La classification des pentes utilisée ici s'appuie sur celle proposé par le Gouvernement canadien, elle a été adaptée au contexte des Jawadhu Hills d'où le choix d'identifier quatre classes de pente.

## L'érosion des sols inérante aux espaces agricoles dans les Jawadhu Hills

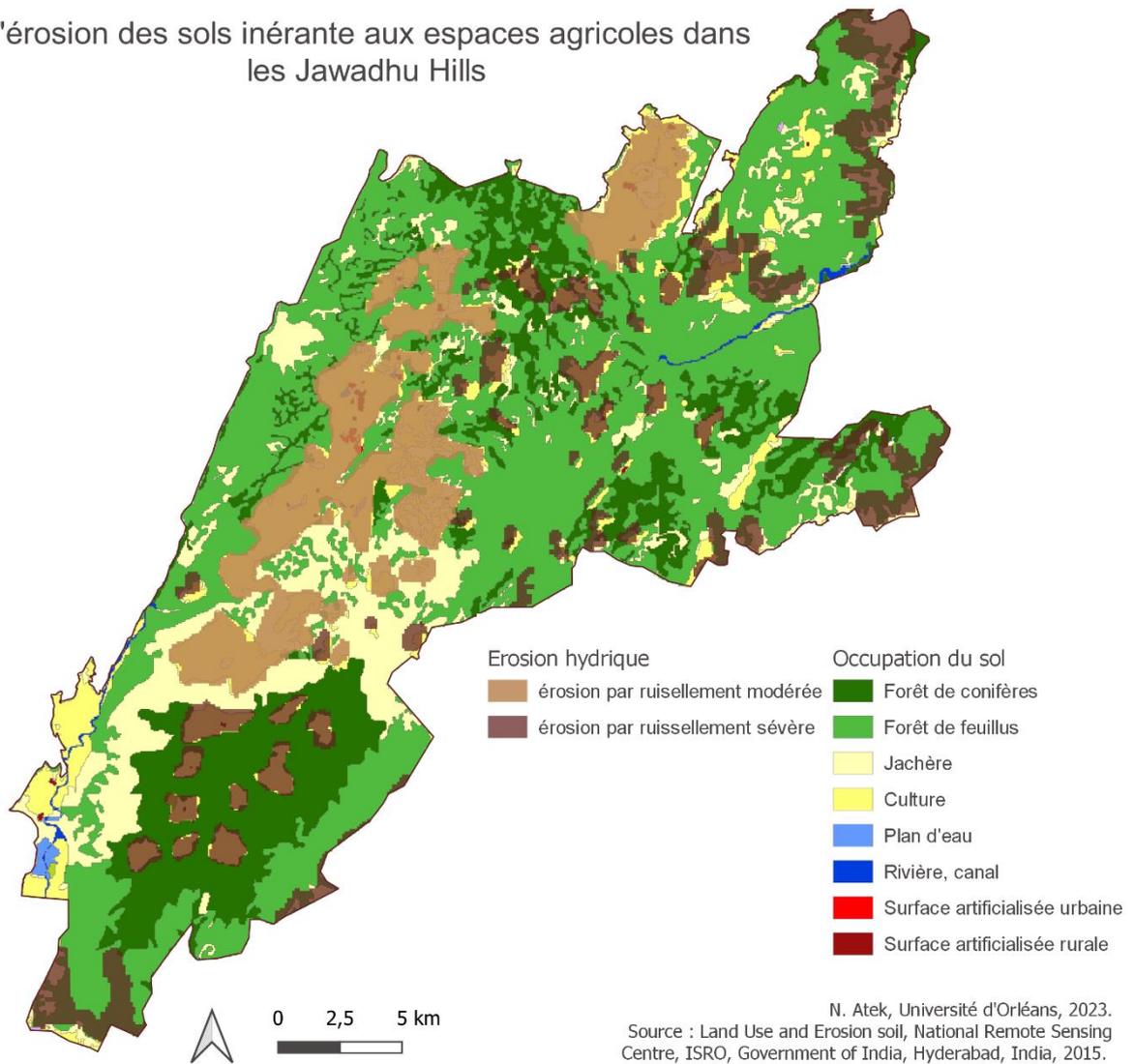


Figure 56 : Carte érosion des sols et occupation du sol dans les Jawadhu Hills. Source : Land Use, National Remote Sensing Centre, ISRO, Government of India, Hyderabad, India 2015

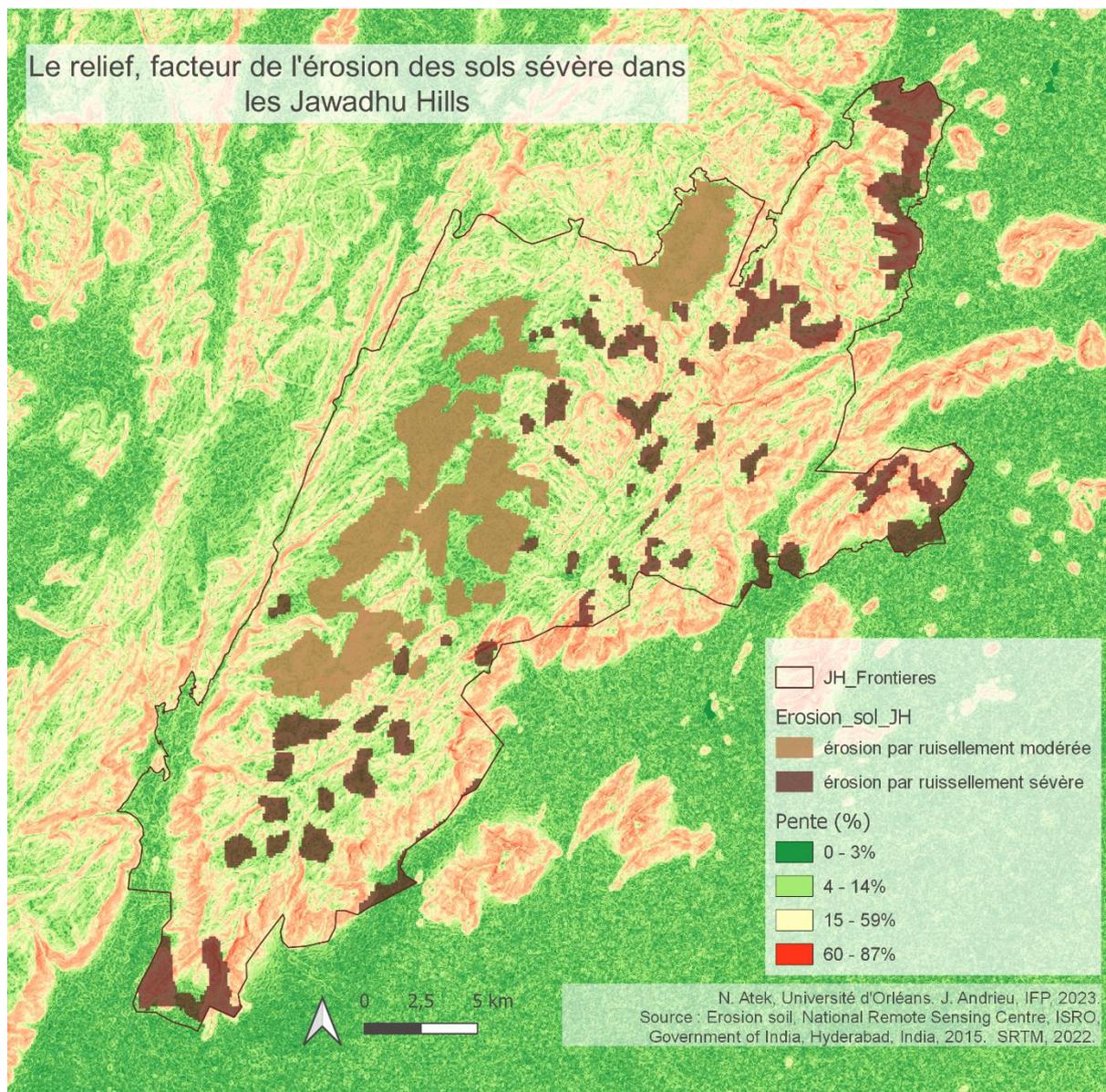


Figure 57 : Carte érosion du sol et pente des Jawadhu Hills. Source : Land Use, National Remote Sensing Centre, ISRO, Government of India, Hyderabad, India 2015

### 3.1.3 Le *stone-bunding*, principale mesure d'atténuation face l'érosion du sol

L'érosion hydrique qui a lieu dans les Jawadhu Hills est donc le produit d'actions combinées : la conséquence des épisodes de fortes pluies accentuées par le relief des Jawadhu Hills et l'occupation des terres. Les terres agricoles anciennement des zones forestières ont sans doute perdu de leur capacité d'infiltration et autres services écosystémiques qui protégeaient ses espaces des formes graves de l'érosion hydrique. Les deux agriculteurs qui ont révélé connaître des problèmes d'érosion du sol sur leur terrain se distinguent par leur profil et leur réaction par rapport à la problématique rencontrée. L'agriculteur A possède une exploitation marginale organisée en trois ou quatre terrasses de différentes tailles (estimation de la zone où se trouve ses parcelles représentée par le polygone jaune, figure 58). Lors de l'entretien, l'agriculteur A a présenté une autre exploitation située un peu plus haut en versant en orange sur la figure 58, son exploitation est située elle en début de versant. Selon lui, toutes ses parcelles connaissent un problème d'érosion du sol sévère à l'image de celles visitées en haut de versant (photographie 27). Il dépend majoritairement de l'agriculture pluviale pour la production de millet et possède un système d'irrigation raccordée au cours d'eau le plus proche pour la production de *paddy*.

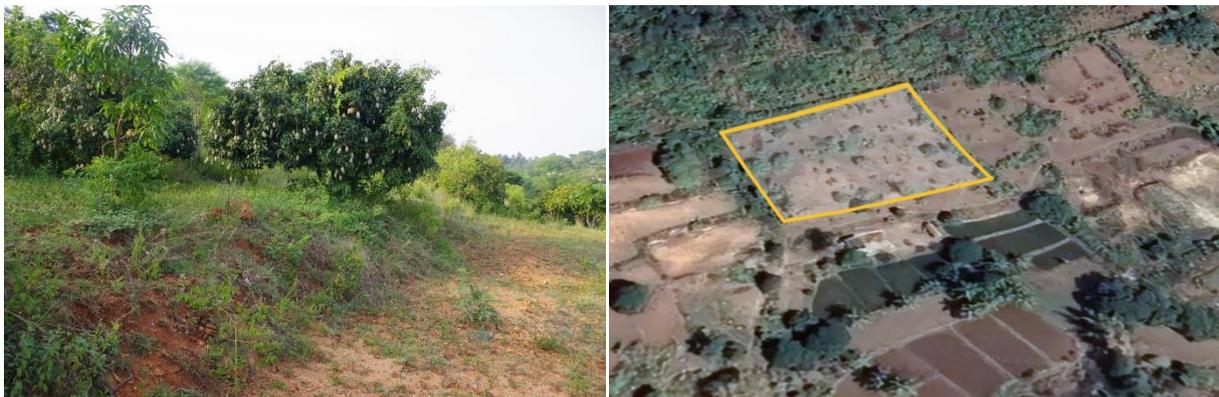


Figure 58 : Image satellite 3D de la zone agricole de l'exploitation A en jaune et de l'exploitation visitée le 10 mai 2023 en orange, source : Google Earth, 2018



*Photographie 27 : Photographie de l'exploitation située en haut de versant visitée avec l'agriculteur A (Jawadhu Hills), mai 2023, cliché N. Atek 2023*

Alors que l'agriculteur D possède la plus grande exploitation parmi tous les entretiens avec au total 4 ha de terres. Sa production est davantage diversifiée, d'une part parce qu'il possède plus de terrain donc la possibilité de diviser les parcelles, d'une autre par le fait qu'il possède son propre puit avec un système d'irrigation opérationnel. La parcelle qui est concernée par l'érosion du sol est destinée à la production de mangues (figure 59) et le terrain ne souffre que d'une érosion modérée selon la figure 56 et le ressenti de l'agriculteur.



*Figure 59 : À gauche parcelles avec les manguiers chez l'agriculteur D (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek. À droite vue satellite 3D de la parcelle, source : Google Earth, 2018*

Par ailleurs, les deux agriculteurs n'ont pas évoqué l'érosion du sol de la même manière, pour l'agriculteur A il s'agit d'un problème majeur qui détermine son activité agricole et sa situation économique alors que pour l'agriculteur D il s'agit d'un problème de l'ordre de l'entretien de ses terres, tous ses revenus n'en dépendent pas et il ne ressent pas une baisse de production de mangues. Même si les deux agriculteurs relèvent des glissements de terrain dus à l'érosion hydrique, leur sévérité et leur impact sur les activités agricoles divergent. Pour l'agriculteur A les glissements de terrain ont un impact à la fois sur sa productivité et sa production, puisque l'érosion hydrique déstructure le sol et engendre une perte des nutriments notamment de l'humus, la couche supérieure du sol qui est fondamentale pour la croissance des plantes (Saroja et Ambedkar, 2017). Quant à la production elle est touchée de manière directe lors des épisodes de pluies intenses puisque les semences sont déplacées par effet de ruissellement. Tandis que l'agriculteur D ne relève pas cette problématique sur la parcelle qui connaît une érosion hydrique. Il est supposé que les mangues subissent des dommages à cause de la pluie en fonction du stade de leur croissance mais l'agriculteur ne mentionne pas d'impact majeur sur sa production ni sur la qualité de ses sols car ses arbres ont des racines profondes qui maintiennent la stabilité du sol.

Leur profil étant différent leurs réactions face à la problématique de l'érosion des sols le sont également. Deux types de réactions sont alors distinguées : des réactions d'adaptation et des réactions d'atténuation. Le GIEC définit l'adaptation dans le cadre de système humain, comme « une démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu ainsi qu'à ses conséquences, de manière à en atténuer les effets préjudiciables et à en exploiter les effets bénéfiques » (IPCC, 2013). L'adaptation se traduit par une transformation de l'espace en fonction des besoins humains et elle peut être couplée avec une transformation des pratiques individuelles (Pellegrino, 2020). Les démarches d'atténuation quant à elles consistent à diminuer des conséquences observées et vécues. L'atténuation est donc une composante des démarches d'adaptation. Que ce soit pour l'adaptation comme pour l'atténuation, les deux termes sont liés à deux variables : le temps et l'espace. En effet, il s'agit de processus qui surviennent face à un événement actuel ou futur qui s'inscrit dans le temps et concerne un espace donné (Pellegrino, 2020). Au vue de ces éléments les deux cas de figures sont recensés lors des entretiens. Lorsque l'agriculteur A fait face à un glissement de terrain il diminue la surface cultivée pour le reste de la saison et change de variété pour la saison suivante (pas plus de

détail n'a été communiqué à ce sujet). Il adapte donc ses pratiques agricoles à la situation. L'agriculteur D opte plutôt pour des mesures d'atténuation en construisant des *stone-bund* sur le terrain qui subit une érosion, il s'agit de muret de pierre placé à l'horizontal par rapport au sens de la pente pour diminuer voire supprimer le déplacement de sédiment. Dans ce cas, l'initiative est à la charge de l'agriculteur, la *DHAN Foudation* agit également en ce sens. En effet, en 2019 elle a construit six *stone-bund* dans le panchayat de Kannamalai, qui accueille un groupe d'habitants travaillant sur les questions du changement climatique. La photographie 28 montre un exemple de *stone-bund* situé en bas de versant dans le village de Pallathur. Une fois installés les *stone-bund* demandent peu d'entretien pour les habitants et les matériaux utilisés sont prélevés sur site ou à proximité.



Photographie 28 : Stone-bund pour diminuer l'érosion au village de Pallathur (Jawadhu Hills), avril 2023, cliché N. Atek

La figure 60 synthétise les éléments d'analyse pour l'érosion du sol dans les JH : les actions menées par la DF en matière de *stone-bunding*, la sensibilité des JH à l'érosion du sol et le relief des JH à travers la représentation des pentes. Les agriculteurs A et D sont également représentés, l'agriculteur marginal se trouve dans le *panchayat* de Kannamalai et celui ayant des manguiers dans celui de Melsilambadi. Le travail de la DF pour l'installation de *stone-bund* et globalement sur le changement climatique est récent car la formation des premiers groupes de fermiers autour de ces sujets date de 2020. Pour le moment seul le *panchayat* de Kannamalai a fait l'objet d'action de la DF pour l'installation de ces dispositifs, pour rappel il

existe deux autres groupes de travaux sur le changement climatique dans les *panchayats* de Nammiyampathu et Kuttakarai. Sur la figure 60 le *panchayat* de Kannamalai apparait particulièrement sensible à une forme d'érosion hydrique sévère qui est en partie expliquée par la présence de très fortes pentes supérieures à 60%, et justifie l'action localisée de la DF. Toutefois l'action de la DF est encore limitée, par exemple l'agriculteur A ne bénéficie pas de l'aide de la DF et a manifesté son intérêt pour ces aménagements. Les *stone-bund*, sont simples et faits à partir d'éléments naturels non polluant pour les écosystèmes locaux, il s'agit du principal moyen d'atténuation face à l'érosion du sol utilisé dans les Jawadhu Hills par les agriculteurs et les acteurs locaux. Durant cette enquête deux agriculteurs sur six ont partagé leur témoignage face à l'érosion du sol, pour une compréhension plus détaillée des impacts et réactions des fermiers face à cette problématique une enquête auprès de plus de fermiers connaissant un problème d'érosion du sol peut être envisagée. Les événements extrêmes de précipitations affectent donc la structure du sol et sa fertilité. Selon une approche systémique, il a été vu ici que les fortes pluies sont l'un des premiers maillon qui influencent les activités agricoles des Jawadhu Hills et que l'érosion du sol est l'une des conséquences des fortes pluies sur le territoire. Le chapitre suivant étudie les autres impacts qui résultent des interactions entre le climat et les milieux agricoles des Jawadhu Hills.

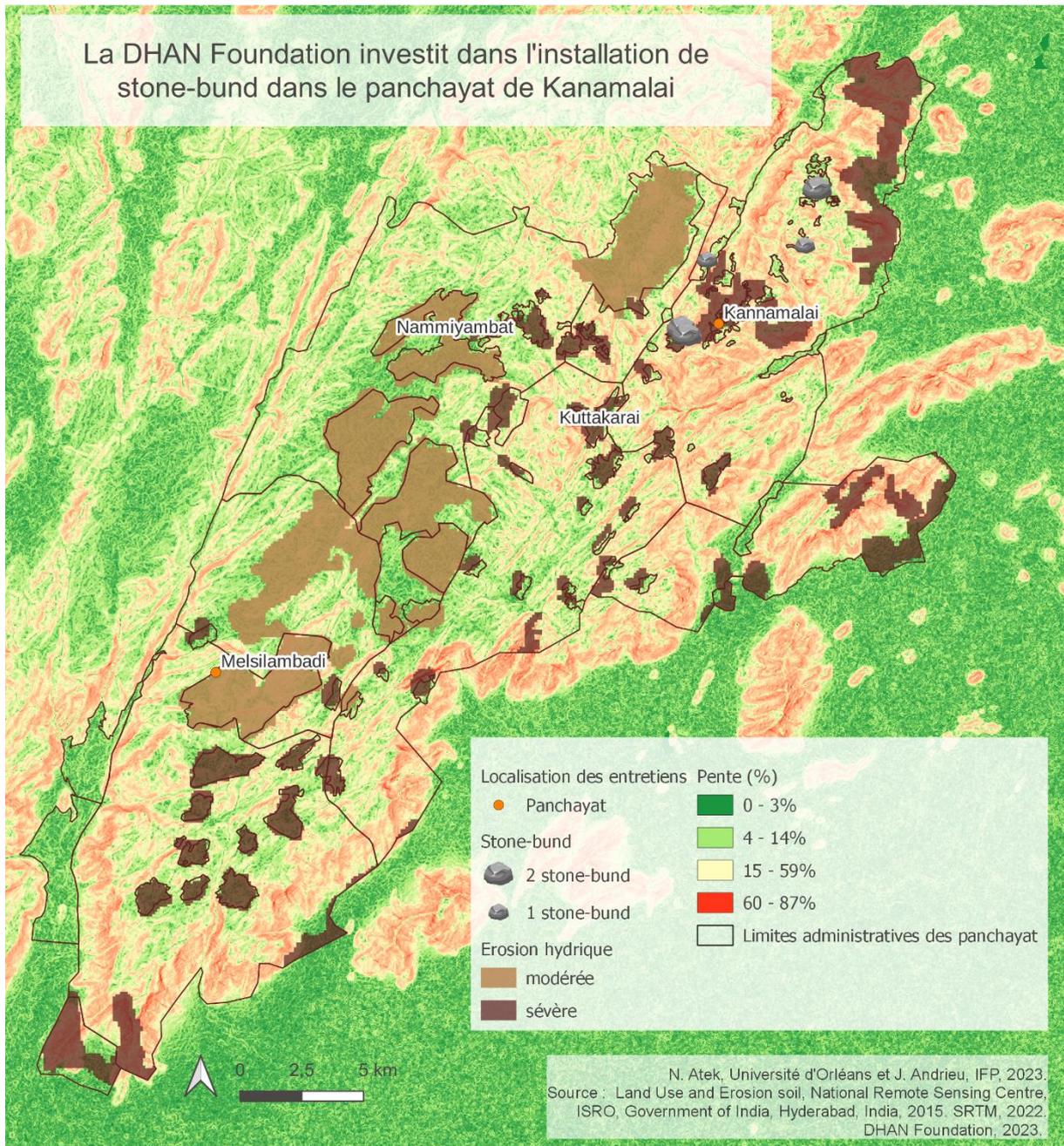


Figure 60 : Carte des stone-bund installés par la DHAN Foundation. Source : Land Use, National Remote Sensing Centre, ISRO, Government of India, Hyderabad, India 2015

## 3.2 La sécurité alimentaire des agriculteurs des Jawadhu Hills menacée par les variabilités climatiques ?

La sécurité alimentaire des agriculteurs des Jawadhu Hills est-elle menacée par différents facteurs directement et indirectement liés aux événements extrêmes climatiques ? L'érosion du sol est le premier problème rencontré par les agriculteurs qui impacte la production et la productivité du territoire. Pour déterminer la sensibilité des agriculteurs à l'insécurité alimentaire, l'étude s'est appuyée sur l'enquête réalisée auprès des agriculteurs des JH et des supports scientifiques déjà existants. La première partie montre en quoi les fortes pluies et les sécheresses perturbent le calendrier agricole des JH, calendrier qui s'adapte perpétuellement aux conditions climatiques. L'enjeu de la ressource en eau est également abordé en deuxième partie car elle est génératrice à la fois de problèmes et de solutions auprès des agriculteurs. Puis la dernière partie est consacrée à l'identification des paramètres qui influencent les systèmes agricoles et alimentaires des JH et comment l'intensification des événements extrêmes climatiques interviennent dans ces mécanismes. Elle montre la vulnérabilité inégale des agriculteurs face au climat et à la sécurité alimentaire. Les trois parties sont guidées par les entretiens et mettent en évidence la diversité des profils agricoles des Jawadhu Hills qui impliquent des vulnérabilités différenciées auprès des agriculteurs.

### 3.2.1 Le calendrier agricole en perpétuel évolution

La partie 3.1.1 montre que tous les agriculteurs rencontrés dans les JH ont observé des problèmes de fortes pluies qui impactent leurs activités agricoles. Sur les six enquêtés trois disent connaître des problèmes de sécheresse durant la mousson et deux enquêtés reconnaissent avoir subi des épisodes de vents violents voire cycloniques. Compte tenu des données récoltées lors de l'enquête l'hypothèse suivante a été formulée : les aléas climatiques extrêmes (pluie torrentielle, sécheresse, vague de chaleur, vent violent) perturbent la croissance des plantes par conséquent modifient le calendrier agricole des fermiers dans les

Jawadhu Hills. Il s'agit donc de déterminer en quoi les aléas climatiques extrêmes perturbent la croissance des plantes. Quels paramètres interviennent dans le cycle de développement des cultures ? En supposant que les événements extrêmes climatiques relevés par les agriculteurs durant l'enquête relèvent du changement climatique, quel est l'impact du changement climatique sur les cultures dans les Jawadhu Hills ?

Les plantes utilisent la lumière du soleil, le dioxyde de carbone de l'atmosphère et l'eau pour se développer ; après la germination de la plante il s'agira de la croissance végétative pour le développement des racines, des feuilles et des tiges et de la croissance générative pour le développement des fleurs, des fruits et des graines. Le mot croissance comprend l'augmentation continue de toutes les dimensions de la plante : longueur, largeur, diamètre, surface, volume et masse. Le développement de la plante est associé à la multiplication de ses organes (El Hassani, 2021). La perturbation de l'un des trois éléments essentiels à la croissance de la plante : la lumière, l'air et l'eau entraîne des réactions en chaîne sur la plante. Par exemple, l'une des caractéristiques du changement climatique est l'augmentation du niveau de CO<sup>2</sup> dans l'atmosphère. La sphère scientifique s'accorde ces dernières années sur l'existence d'effets bénéfiques de l'augmentation du CO<sup>2</sup> dans l'atmosphère sur la croissance des plantes, ce phénomène est appelé fertilisation par le carbone. Le GIEC définit ce phénomène comme une intensification de la croissance des végétaux (GIEC, 2020). Toutefois, dans un territoire à dominante forestière avec un faible taux d'urbanisation, il semble difficile de parler de fertilisation par le CO<sup>2</sup> d'autant que celui-ci est limité par d'autres facteurs influençant la croissance des plantes comme la température de l'air. La hausse des températures globales remarquée en Inde et les vagues de chaleur de plus en plus intenses influencent également les cultures. Le Rubisco est une enzyme primordiale pour transformer le dioxyde de carbone en glucide lors de la photosynthèse, cependant l'augmentation des températures modifie la forme de la poche qui contient le CO<sup>2</sup> et l'enzyme finit par fixer l'oxygène au lieu du dioxyde de carbone. La hausse des températures entraîne également des saisons de croissance plus longues, les plantes poussent plus et plus longtemps ce qui implique une augmentation de leur besoin en eau (Cho, 2022). Ce phénomène couplé avec celui de sécheresse, comme observé en 2002 dans le district de Tiruvannāmalai et en 2016 dans les Jawadhu Hills, provoquent un stress hydrique chez les plantes ce qui d'une part peut diminuer leur capacité d'absorption du

CO<sup>2</sup> mais encore altérer le cycle de croissance de la plante surtout si la sécheresse survient pendant la période de *kharif*.

Même si aucune donnée n'a été relevée concernant la température de l'air et la teneur en CO<sup>2</sup> de l'atmosphère des Jawadhu Hills, les éléments précédents permettent d'appréhender les mécanismes qui influencent le cycle des plantes. Tous les enquêtés ayant subis des fortes pluies recensent des dégradations significatives sur la productivité et la production de leur exploitation : ainsi, l'agriculteur A souffre d'une érosion sévère due à des épisodes de très fortes pluies en octobre et novembre ce qui correspond à la fin de la culture du millet. Dans ces conditions une grande partie de sa récolte est détruite pour cause de glissement de terrain et sa réaction est de réduire sa surface de production et de changer de variété de millet à la prochaine saison. Pour ce qui est des cinq autres enquêtés tous mentionnent une perte de production à cause des épisodes de fortes pluies. Étant donné que celles-ci se produisent principalement durant la mousson du nord-est c'est la production de millet qui est majoritairement touchée. Deux enquêtés (un agriculteur et un groupe d'agricultrices), qui sèment deux fois du millet dans l'année, en juin et en octobre, ont tenté d'enlever les plants de millet dès l'apparition des fortes pluies cependant cette technique est limitée car la pluie reste assez imprévisible.

Les échanges avec les agriculteurs ont mis en lumière la grande variabilité de leur calendrier agricole, souvent les agriculteurs mentionnent que les dates de semi et de récolte ne sont pas fixes mais s'adaptent à la météo. Les travaux de M. Rzegoczan (2023) détaillent les calendriers agricoles des quatre agriculteurs rencontrés, ici il a été préféré de synthétiser les calendriers agricoles en trois modèles types. Le tableau 8 propose trois grands types d'exploitations agricoles recensés dans les Jawadhu Hills : les exploitations mixtes, c'est-à-dire avec une agriculture irriguée et une agriculture pluviale ; les exploitations mixte avec *contract crop* ; et les exploitations entièrement en agriculture pluviale. Selon les exemples de calendrier agricole les principales perturbations du calendrier concernent les cultures de millet pendant la mousson du nord-est. Ce sont durant les mois d'octobre (200 mm) et novembre (161 mm) que le territoire reçoit la plus grande quantité de ses précipitations de manière aléatoire avec des maximales de précipitations journalières pouvant excéder les 100mm en 24h. Lorsque les fortes pluies surviennent en octobre ce sont les cultures à l'état de germination qui sont détruites, les cultures sont en début de cycle de leur croissance ce qui laisse le temps aux

agriculteurs de semer une nouvelle fois pour renouveler leur culture. Cependant si les fortes pluies surviennent en novembre ou en décembre la récolte est perdue dans le cas où il y a destruction totale car le mois de janvier annonce le début de la saison sèche et les précipitations sont insuffisantes pour la production de millet sans système d'irrigation. Pour ce qui est des épisodes de sécheresse, l'étude climatologique réalisée sur le district de Tiruvannāmalai révèle qu'il y a plus de sécheresses pendant la mousson du sud-ouest et les témoignages des agriculteurs convergent vers cette observation. Lorsqu'une sécheresse météorologique ou agricole survient entre juin et septembre la culture du millet, les cultures de légumes ou de riz peuvent être détruites ou leur cycle de croissance allongé. Si la sécheresse intervient au début du cycle de la croissance la germination est mise en péril, alors que si la sécheresse a lieu pendant la croissance végétative et générative alors leur développement sera plus long. Une augmentation de la croissance des cultures lors de la première semence pluviale est un véritable enjeu puisque cela peut menacer la seconde semence qui dépend également de la mousson. Encore une fois sans système d'irrigation les agriculteurs dépendent entièrement de la mousson, les rendant vulnérables à sa variabilité et aux aléas. Enfin, même si les températures n'ont pas été mentionnées par les agriculteurs, les mois d'avril et de mai sont les plus chauds dans le district de Tiruvannāmalai. Le relief élevé des Jawadhu Hills offre des températures plus supportables que la ville la plus proche, Tiruvannāmalai. Étant donné qu'aucune question au sujet des températures n'a été posée, le parti-pris a été de supposer que les JH ne sont pas à l'abri de connaître des vagues de chaleur. Les épisodes de fortes chaleur concernent alors les cultures irriguées de riz, de légumes et de *contract crop*. Les constats précédents ont montré que la hausse des températures augmente le cycle de croissance des plantes et leur besoin en eau. Ainsi, dans l'hypothèse où les vagues de chaleur surviendraient en avril - mai cumulées avec un épisode de sécheresse entre juin et septembre, la ressource en eau des agriculteurs serait directement touchée. La gestion de la ressource en eau constitue alors le deuxième grand enjeu auxquels font face les agriculteurs des Jawadhu Hills.

Type d'exploitation agricole	Calendrier	Culture
<b>Exploitation mixte</b>	janvier - avril	Paddy / Légumes
	mai - juillet	Paddy / Millet / Légumes
	août – novembre	Millet / Horsegram / Légumes
	décembre	Jachère
<b>Exploitation mixte avec <i>contract crop</i></b>	décembre – janvier	Jachère
	février - mai	<i>Contract crop</i> : Concombre, Côton, Cornichon Paddy / Légumes
	juin – septembre	Paddy / Millet / Légumes
	octobre - novembre	Millet / Horsegram / Légumes
<b>Exploitation entièrement en agriculture pluviale</b>	juin – septembre	Millet
	octobre - décembre	
	janvier- février	Jachère
	mars - mai	Migration

Tableau 8 : Exemple de calendrier agricole dans les Jawadhu Hills, N. Atek 2023

### 3.2.2 La gestion de l'eau véritable enjeu dans les Jawadhu Hills

L'eau est l'un des éléments nécessaire à la bonne croissance des plantes et donc directement liée à l'activité agricole. Parmi les quatre entretiens individuels réalisés les agriculteurs B, C et D possèdent un puit individuel, pour l'agriculteur B il s'agit d'un puit fonctionnant avec un moteur essence et les agriculteurs C et D il s'agit de puits à pompe électrique. Le recours à des pompes électriques trouve des avantages dans le fait que l'électricité pour l'usage agricole est gratuite car payée par l'État du Tamil Nadu, les agriculteurs ne déboursent donc rien pour son utilisation. Cependant en cas de coupure de courant, ce qui est souvent le cas durant les tempêtes ou les épisodes de vents violents, les agriculteurs se trouvent privés de leur système d'irrigation. Alors que l'agriculteur B ne connaît pas ce problème, il est dépendant de la disponibilité de l'essence et de la volatilité de son prix ce qui peut le rendre plus vulnérable que les agriculteurs C et D. L'agriculteur A est quant à lui équipé d'un système d'irrigation relié à la rivière la plus proche, sa vulnérabilité se trouve dans la

ressource en eau courante. En ce qui concerne les deux groupes d'agricultrices interrogés, sur les 13 agricultrices seules quatre possèdent un puit individuel pour la culture de *contract crop* dont le mode de pompage est inconnu. Le reste des agricultrices pratiquent seulement de l'agriculture pluviale et migrent entre décembre et mai. Ainsi sur les 17 agriculteurs rencontrés dans les Jawadhu Hills, 52% n'ont pas de puit et donc dépendent entièrement de la mousson. Même si le ratio entre l'agriculture pluviale et l'agriculture irriguée est équilibré parmi les enquêtés cela ne reflète pas la situation du territoire.

En effet, le Gouvernement du Tamil Nadu révèle dans une étude de 2017 que sur les 9 146 ha de terres cultivées seules 10% sont irriguées, se référer à la partie 1.1.3 *L'agriculture, activité économique traditionnelle*. La nature de la relation des agriculteurs avec la ressource en eau est à différencier selon s'il s'agit d'une agriculture pluviale ou irriguée. Les agriculteurs uniquement en culture pluviale dépendent de la ressource en eau au moment où ils cultivent, les cultures subissent un stress hydrique en cas de sécheresse ou sont endommagées durant les épisodes de fortes pluies. Ces agriculteurs comptent sur leur deux récoltes pour leur propre consommation et pour la vente, les épisodes de sécheresse surviennent en général durant la première semi et les épisodes de très fortes pluies durant la seconde semi. Ces deux événements climatiques cumulés une même année ébranlent les revenus pécuniers et le niveau de vie des familles. Pour les agriculteurs pratiquant une agriculture mixte, irriguée et pluviale, leur situation est moins vulnérable. Les agriculteurs ayant un puit stockent de l'eau durant toute la mousson. La plus grande partie des précipitations se trouvant en fin d'année même si des sécheresses ont lieu durant les premiers mois de la mousson cela n'impacterait pas significativement les stocks d'eau. Pour ce qui est de leur culture pluviale, en cas de fortes sécheresse les agriculteurs peuvent recourir à leur stock d'eau pour subvenir à leur besoin contrairement aux agriculteurs en culture intégralement pluviale. Les fortes pluies de la mousson du nord-est sont moins préoccupantes pour les agriculteurs en culture mixte avec des surfaces d'exploitations classées comme moyennes et grandes car elles rechargent leurs puits et les dégâts causés sur les cultures sont amortis par les revenus générés par les cultures irriguées. Ainsi, selon les chiffres gouvernementaux, 90% des agriculteurs des JH sont très sensibles à la ressource en eau et leurs activités économiques dépendent de sa gestion.

Dans ce cadre la *DHAN Foundation* intervient auprès des agriculteurs pour optimiser la gestion de l'eau via la création d'étang (*pond*). Entre 2021 et 2023 la *DHAN Foundation* a au moins participé à l'aménagement de cinq étangs dans les Jawadhu Hills. Il s'agissait soit de plan d'eau déjà existant et donc de leur rénovation soit de la création de nouveau plan d'eau. La figure 61 montre l'emplacement stratégique privilégié par la *DHAN Foundation* pour la construction de ces étangs. Les plans d'eau sont localisés en aval de bassin versant au niveau des fonds de vallée de manière que le ruissellement des cours d'eau environnant converge vers le plan d'eau.

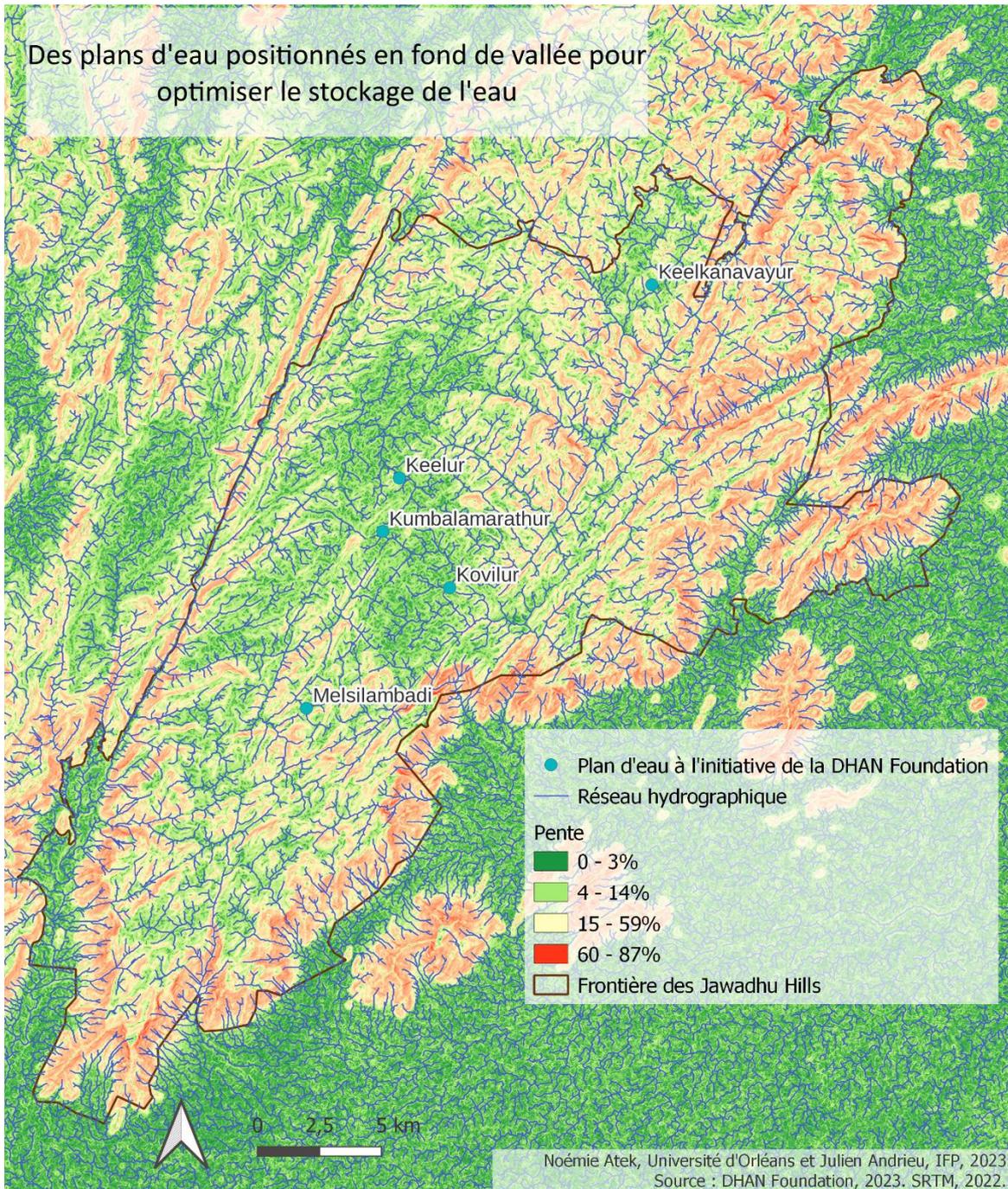


Figure 61 : Carte implantation des étangs de la DHAN Foundation. Source : SRTM, 2022 et DHAN Foundation, 2023

L'étang de Kovilur a été visité durant sa phase de rénovation, la série de photographies 30 et 31 montre son évolution au cours de son aménagement. Dans le cadre de la rénovation des étangs, la capacité de stockage de l'eau a été augmentée en ajoutant plus de profondeur à l'étang et les canaux reliant les plans d'eau aux cours d'eau à proximité ont été agrandis. La rénovation de ces étangs mobilisait au moins trois acteurs locaux : la *DHAN Foundation* qui joue le rôle de maître d'œuvre et de commanditaire avec le président du *panchayat* et les habitants du village concerné. Les habitants constituent une association qui s'occupent de la gestion du plan d'eau, elle est le plus souvent composée des agriculteurs qui bénéficient des services de l'étang. Dans le cas de l'étang de Kovilur, l'agriculteur B interrogé fait partie de l'association en charge de sa gestion. Étant également le prêtre du temple hindou se trouvant à côté de l'étang il a suivi les chantiers de rénovation du plan d'eau. L'étang de Kovilur, tout comme les quatre autres étangs, se trouve à proximité des espaces agricoles (figure 62), il a pour but de stocker la ressource en eau et servir de réservoir pour les cultures irriguées. En cas d'épisodes de pluies torrentielles, l'étang offre un exutoire aux cours d'eau du bassin hydrographique et diminue le risque de débordement des cours d'eau et de destruction des cultures en cas de crues. En cas de sécheresses, l'étang propose une solution aux agriculteurs et éleveurs pour subvenir à leur besoin. Les étangs mis en place par la *DHAN Foundation* sont donc des mesures d'adaptation en réponse aux épisodes de fortes pluies et de sécheresses qui visent à optimiser le stockage de l'eau tout en diminuant les impacts négatifs des aléas extrêmes climatiques sur les activités agricoles. La rénovation ou la création d'étangs ne sont pas les seules mesures mises en place face aux aléas climatiques.

Pour atténuer l'impact des fortes pluies sur les cultures, l'agriculteur B et le Groupe d'agricultrices 2 utilisent des bâches en plastique pour protéger leur culture au moment des fortes pluies. Le Groupe d'agricultrices 1 adapte ses pratiques au climat, il lui arrive d'embaucher une trentaine de personnes pour récolter le millet au plus vite avant les épisodes de fortes pluies mais cette technique est limitée par la variabilité du climat. Tous les agriculteurs rencontrés hormis les deux plus grands exploitants (C et D) sont fortement impactés dans leur quotidien par les conditions météorologiques. La dernière partie de ce chapitre montre en quoi la sécurité alimentaire des agriculteurs des Jawadhu Hills est mise en péril à cause des aléas climatiques extrêmes.



*Photographie 29 : Rénovation de l'étang de Kovilur, mars 2023, cliché N. Atek*



*Photographie 30 : Étang rénové de Kovilur, juin 2023, cliché N. Atek*

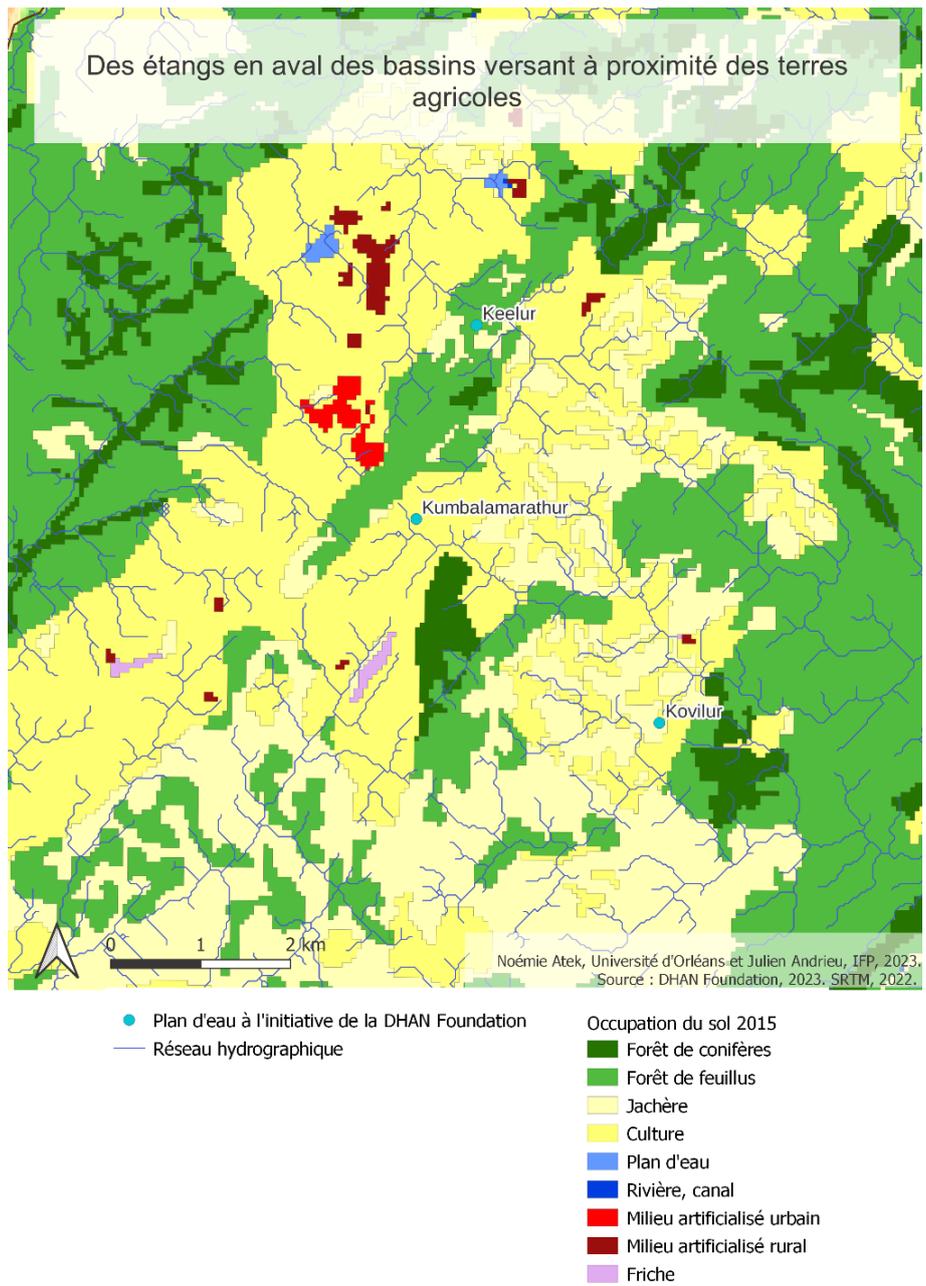


Figure 62 : Carte des étangs de la DF selon l'occupation du sol. Source : SRTM, 2022 et DHAN Foundation, 2023

### 3.2.3 L'insécurité alimentaire présente et différenciée selon les profils des agriculteurs

Les modifications thermiques et pluviométriques en Inde ont entraîné et entraîneront des perturbations du système alimentaire et agricole indien, en sachant que l'Inde possède la deuxième plus grande surface agricole mondiale et que l'agriculture emploie 55% de sa population en 2019 (Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire, 2019). Puissance agricole et pays le plus peuplé au monde, se réfère à la partie 1.1.1 et 1.1.3, la pérennité des systèmes agricoles et alimentaires indien est un véritable enjeu face au changement climatique. Alors que les céréales sont les aliments les plus consommés par les indiens, 180kg/an contre 100kg/an pour les fruits et légumes – à titre de comparaison en France la consommation de céréales par an est de 181kg contre 214kg de fruits et légumes (Taravella et Barbier, 2002) – la production céréalière sera fortement affectée d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Le production de riz, première céréale produite en Inde et consommé quotidiennement en Inde du Sud, diminuera de 10 à 30% et le maïs de 25 à 70% dans le cas d'une augmentation de la température de 1 à 4 °C estime le GIEC. Il souligne le fait que le changement climatique aura des effets négatifs mais aussi positifs pour certaines régions, il y aura donc des perdants et des gagnants dans le secteur agricole. L'Inde serait le pays le plus vulnérable en termes de production agricole à l'échelle du continent asiatique, la figure 63 montre les disparités spatio-temporelles qu'il y a entre l'Inde et les pays d'Asie du Sud-Est (IPCC, 2022).



Figure 63 : Impact du changement climatique sur la production agricole en fonction des régions d'Asie, source : GIEC, 2014

La sécurité alimentaire du pays est donc menacée par le changement climatique, l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO) définit la sécurité alimentaire comme « une situation dans laquelle tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique, social et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins nutritionnels et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active ». Afin d'évaluer le degré d'insécurité alimentaire d'une population la FAO a mis en place une échelle de mesure FIES - *Food Insecurity Experience Scale* – figure 64.



Figure 64 : Echelle de mesure FIES, source : FAO

Le GIEC considère qu'il y a quatre piliers sur lesquels repose la sécurité alimentaire : la disponibilité, l'accès, l'utilisation et la stabilité. Le changement climatique et dans le cas des Jawadhu Hills les aléas climatiques extrêmes influencent ces quatre piliers (IPCC, 2019). Complété par les éléments scientifiques apportés par le GIEC, ce chapitre montre en quoi la sécurité alimentaire des agriculteurs des Jawadhu Hills est menacée et comment une différenciation de la vulnérabilité s'observe en fonction des profils agricoles.

La disponibilité de la ressource agricole dans les Jawadhu Hills est directement menacée par les épisodes de fortes pluies pointés du doigt par les 17 agriculteurs rencontrés durant l'enquête menée de mai à juin 2023 (13 en groupe et 4 individuels). Parmi les 17 agriculteurs, 9 sont en agriculture pluviale, 6 en agriculture mixte avec des *contract crop* et 2

en agriculture mixte sans *contract crop*. Tous notent une perte de leur production due aux épisodes de fortes pluies (indice de fréquence élevé<sup>22</sup>), aux épisodes de sécheresse (indice de fréquence modérée) et aux épisodes de vents violents (indice de fréquence faible). Certes tous les agriculteurs subissent les aléas climatiques cependant leurs impacts sur le niveau de vie et la sécurité alimentaire des agriculteurs diffèrent selon les trois profils agricoles présentés dans le tableau 9 réalisé à partir des entretiens. Ce tableau offre une première approche du contexte territorial agricole. Les 9 agriculteurs en culture pluviale intégrale produisent du millet pendant la mousson, une partie ou la totalité de ce millet est gardé pour la consommation des ménages et l'autre partie est revendu. Les deux agriculteurs en culture mixte voient leur production de millet touchée par les fortes pluies, le paddy étant produit le plus souvent en saison sèche il est moins concerné par les aléas climatiques. Ces deux agriculteurs stockent du millet pour leur propre consommation et vendent le reste de leur production de millet et l'intégrale de leur riz pour générer des revenus. Le troisième profil d'agriculteurs rencontrés produit des cultures intégrées (*contract crop*) comme les cornichons, le coton et les concombres. Ils sont dans la même situation que les deux agriculteurs en culture mixte mais sont assurés d'avoir un revenu fixe grâce au rachat automatique de leur production de *contract crop*. Par conséquent, les exploitations marginales sont plus vulnérables aux aléas climatiques et donc à l'insécurité alimentaire par rapport aux agriculteurs en culture mixte et ceux qui ont des *contract crop*. Il est à noter que les agriculteurs situés en versant sont plus sensibles à l'érosion du sol que ceux situés en plaine, dans le cas d'une exploitation intégralement pluviale leur niveau de vulnérabilité à l'insécurité alimentaire est accru. Le premier échelon d'impact des aléas climatiques touche donc directement la production des agriculteurs. La disponibilité agricole est également mise en péril par des effets secondaires du changement climatique comme la perte de fertilité du sol, la diminution des pollinisateurs et l'augmentation du risque de maladies et de ravageurs.

---

<sup>22</sup> Se référer à la figure 53 : une fréquence élevée correspond au fait que la majorité des enquêtés est concerné par le problème, une fréquence modérée correspond à la moitié des enquêtés et une fréquence faible concerne moins de la moitié des enquêtés.

Type d'agriculture	Agriculture intégralement pluviale	Agriculture mixte	Agriculture mixte avec <i>contract crop</i>
Superficie de l'exploitation	Exploitation marginale à petite	Exploitation marginale à moyenne	Exploitation petite à moyenne
Activité économique complémentaire	Migration		

Tableau 9 : Profils agricoles des Jawadhu Hills, N. Atek, 2023

En effet, les conditions météorologiques extrêmes seraient propices au développement de maladies et de ravageurs comme l'escargot de la pomme d'or (*Pomacea canaliculate*) pour le riz (IPCC, 2022). L'allongement de la durée de croissance des cultures, expliqué dans la *partie 3.2.1*, offre une opportunité aux ravageurs de se reproduire davantage et les températures plus chaudes durant les hivers accélèrent les cycles de vie des insectes, des ravageurs et des agents pathogènes. De plus un décalage temporel entre les ravageurs ou les vecteurs et leurs « ennemis naturels » provoquerait une augmentation de leur population. Par ailleurs, les ravageurs ou agents pathogènes peuvent se montrer plus persistant aux mesures de lutte adoptées et les initiatives de stockage de l'eau et d'irrigation pour s'adapter aux variations des précipitations peuvent augmenter les populations de vecteurs de maladies (Bett et al. 2017 cité par l'IPCC, 2019). Les pollinisateurs, insectes, oiseaux, chauves-souris, sont également perturbés par les aléas climatiques. Par exemple, la perturbation du calendrier agricole vu dans la *partie 3.2.1* entraîne un décalage avec le cycle de vie des pollinisateurs et donc réduit la pollinisation. La pression anthropique sur les espèces, que ce soit par l'usage de fertilisant chimique ou la réduction de leur habitat, ajoute des éléments contraignant leurs services écosystémiques. C'est d'ailleurs pourquoi, le Département de l'Horticulture du district de Tiruvannāmalai a entrepris en 2020 la création d'un parc à pollinisateur pour augmenter la population locale et rendre service aux agriculteurs des JH.

La diminution des habitats naturels au profit des milieux artificialisés touche les pollinisateurs mais également la population, car l'urbanisation peut se faire au détriment de surface agricole. Pour le moment, le territoire des Jawadhu Hills n'est pas concerné, l'étude de

l'évolution de l'occupation du sol dans la partie 3.1.2 a montré que ces dix dernières années la surface agricole a augmenté. Le soucis de l'accessibilité se pose d'une autre manière dans les Jawadhu Hills, il est plutôt question de difficulté d'accessibilité physique. L'agriculteur A situé dans les hauteurs (650m) a mis en évidence que les villages en altitude ou enfermés dans des vallées étroites sont isolés des équipements routiers, souvent les chemins pour y accéder sont escarpés et subissent eux aussi les aléas climatiques. Par exemple, des difficultés ont été rencontrées pour rejoindre l'agriculteur A dans le village de Melpuligankuppam au nord-est des Jawadhu Hills, le chemin fortement pentu formait des ravines à cause du ruissellement des pluies et le sol était peu stable. Cette difficulté d'accès s'explique donc par des conditions physiques mais également monétaire. D'abord parce que tous les agriculteurs ne possèdent pas un moyen de locomotion, l'agriculteur B qui consomme la majorité de sa production excepté les cultures de *contract crop* a mentionné le fait qu'il n'avait pas accès au marché et que les revendeurs ne venaient pas jusqu'à lui. De plus la volatilité des prix des semences et des intrants chimiques rend les agriculteurs avec peu de ressource financière encore plus vulnérable. La diminution de la production agricole entraîne une augmentation du prix de vente des produits, dont le riz et le millet. Cette baisse du pouvoir d'achat de la population des JH entraîne également des répercussions sur la santé des habitants. Les situations de malnutrition pourraient être davantage amplifiées.

L'utilisation et la qualité des aliments peuvent être également compromises. Les systèmes agricoles et alimentaires comprennent la phase de production, de transformation, de transport, de stockage et de consommation. Durant les quatre phases avant leur consommation, les aliments peuvent subir des détériorations. Les événements climatiques comme le changement d'humidité et les fortes chaleurs interviennent dans les activités microbiennes. Ces perturbations sont sujettes à des pertes ou la multiplication de maladies. Les aléas climatiques extrêmes des Jawadhu Hills et leur possible intensification due au changement climatique perturbent la stabilité agricole du territoire et le niveau de vie de ses habitants. Les processus de cause à effet sont multiples et affaiblissent les systèmes agricoles de subsistance largement représentatifs du territoire des Jawadhu Hills. Par ailleurs, des tendances divergentes peuvent qu'accentuer ces dynamiques : alors que le territoire peut connaître une baisse en production agricole les besoins nutritionnels de la population peuvent augmenter à cause de l'intensification des conditions de travail aux champs (Watts et al. 2018,

cité par IPCC, 2019). Pour anticiper et adapter les pratiques agricoles de demain des travaux de prospection climatique ont été réalisé par l'Agence de développement rural du district de Tiruvann malai.

### 3.3. Entre augmentation des températures et des événements extrêmes météorologiques, quels leviers pour l'avenir agricole des Jawadhu Hills ?

Dans ce dernier chapitre il est question d'étudier le devenir des Jawadhu Hills au regard de l'évolution du climat et les leviers d'actions pour améliorer les conditions de travail des agriculteurs face aux aléas climatiques extrêmes. C'est pourquoi, dans un premier temps des éléments de la sphère scientifique avec les résultats obtenus lors de l'enquête menée auprès des agriculteurs des JH ont été croisés afin d'obtenir une vue d'ensemble sur l'évolution du territoire à court, moyen et long terme selon une approche quantitative et qualitative. La seconde partie est consacrée à la présentation des attentes des agriculteurs vis-à-vis des acteurs locaux pour améliorer leurs conditions de travail et adapter au mieux leurs pratiques agricoles aux aléas climatiques.

#### 3.3.1 Une prospective climatique à deux niveaux : entre études climatologiques et préoccupations des agriculteurs

Anticiper l'avenir pour s'adapter au mieux est l'une des clés dans l'évolution des sociétés humaines face au changement climatique. Il existe plusieurs travaux de prospection climatique dans le Tamil Nadu et aux échelles infra régionales qui ont été ici résumées et comparées avec les perceptions des agriculteurs interrogés dans les Jawadhu Hills. Le Laboratoire de recherche agro-climatique de l'Université de Coimbatore dans le Tamil Nadu propose une étude prospective des précipitations annuelles dans la région selon les districts. La réalisation des scénarios 2020, 2050 et 2080 s'est appuyée sur la base de données des précipitations de 1971 à 2000. La normale de précipitations annuelles du district de Tiruvann malai, entouré sur la première carte de la figure 64, est de 1 045mm. Sur les trois

scénarios une diminution des précipitations annuelles est visible, passant de 1 045 mm à 1 020 mm/an en 2020 et diminuant jusqu'à 995 mm de précipitations/an en 2050 et 2080. Cette diminution des précipitations annuelles est observable dans la majorité des districts du territoire régional cependant la tendance de quelques districts est plutôt à la hausse des précipitations notamment dans le Centre du Tamil Nadu. Le Sud de la région est également assez peu touché par une diminution des précipitations annuelles. Le scénario de 2080 montre toute de même la dominance des districts recevant moins de 945 mm par an de pluie.

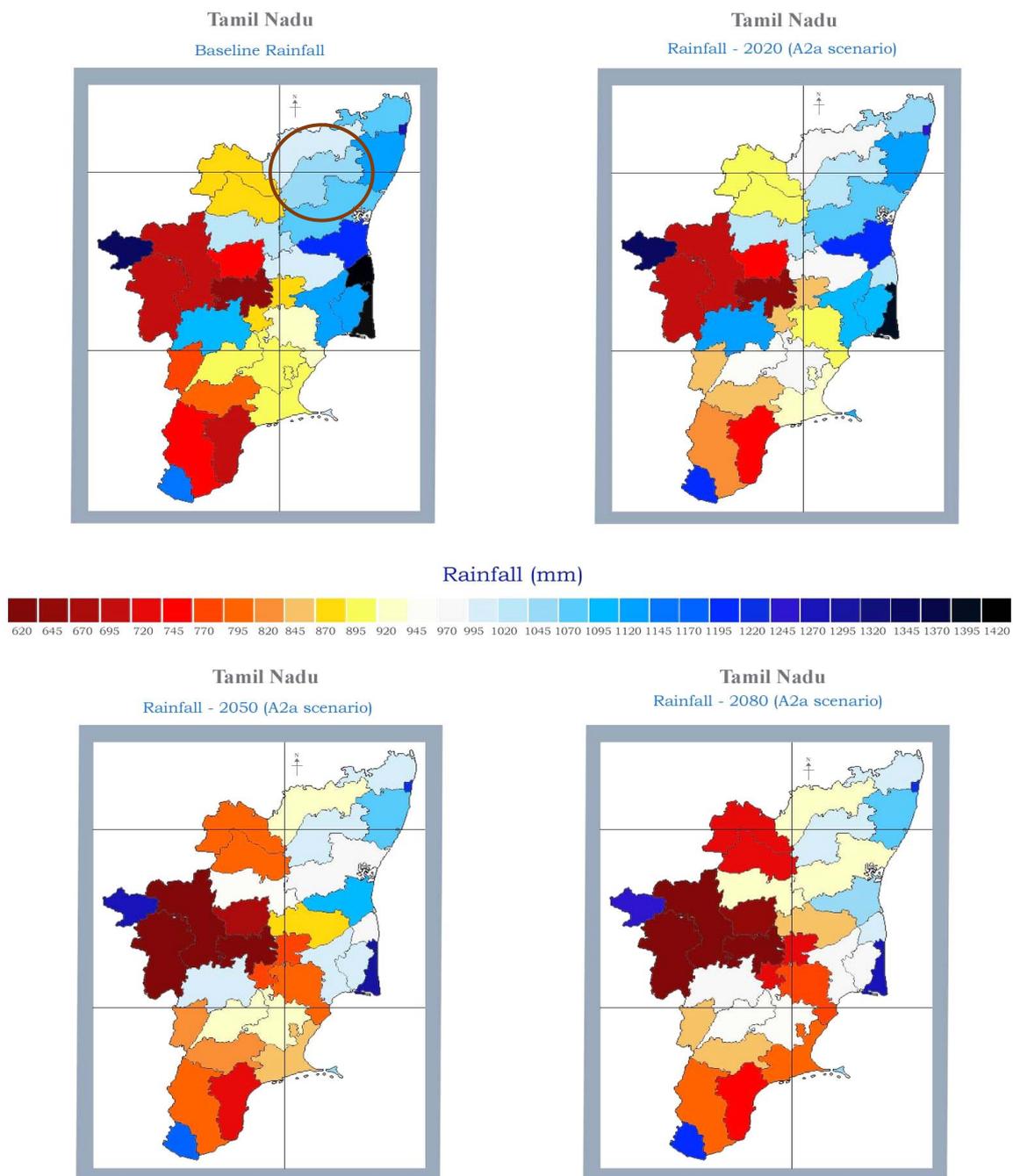


Figure 65 : Prospectives des précipitations annuelles dans le Tamil Nadu, source : Université de Coimbatore, Tamil Nadu 2008

Un étude a été publiée en 2021 dans le cadre d'un projet de coopération Indo-germanique sur la sécurité hydrique et l'adaptation au changement climatique (*Water Security and Climate Adaptation in Rural India – WASCA*). Cette coopération décentralisée entre les deux pays a donné suite à des travaux de recherche-action dans les États du Tamil Nadu, du Madhya Pradesh, du Rajasthan, de l'Uttar Pradesh et du Karnataka. Dans le Tamil Nadu, quatre districts ont fait l'objet d'un diagnostic territorial : Ramanathapuram, Dharmapuri, Perambalur et Tiruvannāmalai. L'objectif du programme était de caractériser la vulnérabilité des territoires autour des enjeux liés à la ressource en eau, au changement climatique, à l'agriculture et au niveau socio-économique des populations afin de mettre en œuvre des actions adaptées qui visent à l'adaptation et à l'amélioration des conditions de vie des populations. Dans le cadre du travail mené dans le district de Tiruvannāmalai, une approche par bloc administratif a été adoptée, pour la réalisation du diagnostic territorial 32% des Jawadhu Hills ont été étudiés. Ainsi les données analysées ici sont tirées du document de synthèse du Département de développement Rural du district de Tiruvannāmalai et offrent des informations indicatives du devenir climatique du territoire. Pour la réalisation des scénarios de 2020, 2050 et 2080 la base de données 1981-2010 a été sélectionnée, les trois scénarios représentent des périodes de trente ans indiquées sur la figure 66. Selon les prévisions à l'échelle du district, une diminution de près de 5% des précipitations annuelles est prévue d'ici 2080. Les Jawadhu Hills qui sont entourés dans le figuré de gauche de la figure 66, devrait subir une diminution comprise entre 4,23% et 6,31% de précipitations annuelles d'ici 2080. Par rapport au reste du territoire, les JH apparaissent comme l'un des espaces les plus fortement vulnérable à une diminution des précipitations durant le XXI<sup>e</sup> siècle.

Table 3.10. Projected Future Changes in Annual Average rainfall by PRECIS, Regional climate model projections for 2020, Mid and End Century with Base line of 1981-2010 for Tiruvannamalai District	
Projection with respect to baseline (projection Period)	Average Annual Rainfall (Projected)
2020 (2010-2040)	- 2.0%
2050 (2040-2070)	- 5.0%
2080 (2070-2100)	- 4.0 %

Source: Scoping Study, CCCDM, Anna University for WASCA-TN, GIZ, Nov 2019)

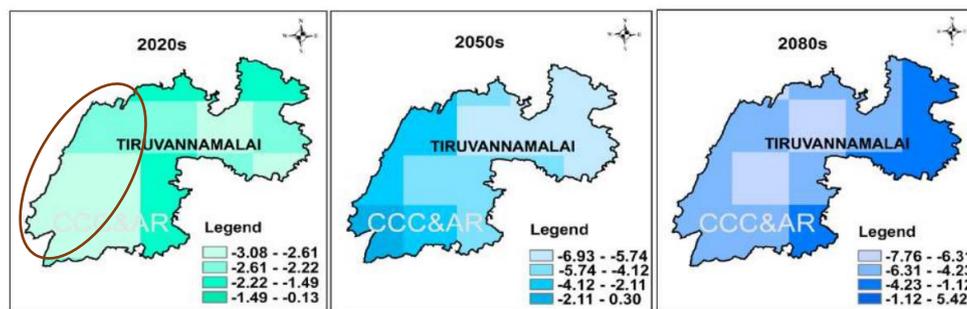


Figure 66 : Prospective des précipitations annuelles dans le district de Tiruvannāmalai, source : WASCA, 2021

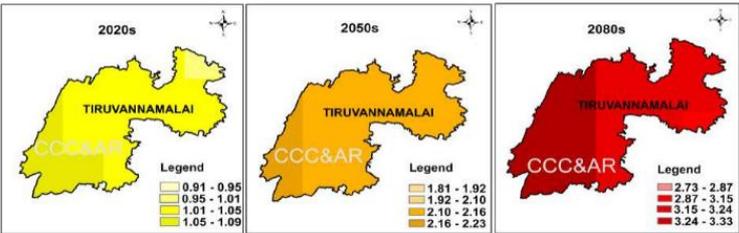
Pour ce qui est des températures, maximales et minimales, une augmentation de plus de 3°C est prévu d'ici 2080. Les JH apparaissent sujet à de plus forte augmentation concernant leurs températures maximales avec une augmentation comprise entre 2,16°C à 2,23°C en 2050 et de 3,24°C à 3,33°C en 2080 par rapport au reste du district (figure 67). Contrairement aux scénarios des températures minimales où l'augmentation des JH est en dessous du reste du territoire, notamment à l'est (District Rural Development Agency, Tiruvannāmalai, 2021). Alors, au vue de l'augmentation des températures et de la diminution de la ressource en eau prévu dans les JH, quels seront les conséquences agricoles sur le territoire ? Les éléments développés dans le chapitre 3.2 apportent quelques réponses. Une baisse de production et de productivité est à prévoir dues à la destruction des cultures au moment des aléas climatiques ou causées par des réactions en chaines favorisant la diffusion de maladies et de ravageurs, la perte de fertilité du sol et de pollinisateurs. Ces diminutions touchent directement la sécurité alimentaire des habitants des JH. L'une des réponses hypothétique des agriculteurs à ces situations est l'augmentation de l'usage des fertilisants chimiques. En effet, lors des entretiens, tous les agriculteurs en culture mixte ont mis en avant le fait qu'ils avaient recours à des intrants chimiques dès lors que leur production était menacée. Donc une augmentation de l'utilisation des produits chimiques peut être envisagée. Le recours à ces produits alimenterait

sur le moyen et long terme la diminution de la fertilité du sol et des pollinisateurs perpétuant ainsi une boucle de rétroaction négative sur les activités agricoles et la situation socio-économique des agriculteurs des JH (figure 68). Le recours à l'usage de produit chimique n'est toutefois pas automatique et dépend également de facteurs extérieurs, tels que le prix des intrants, les revenus des agriculteurs ou le choix de mesures alternatives (fertilisant naturelle, activité économique complémentaire...).

**Table 3.8. Projected Future Changes in Annual Maximum Temperature by PRECIS, Reginal climate model projections for Mid and End Century with Base line of 1981-2010 for Tiruvannamalai District**

Projection year with respect to baseline	Projection period	Maximum Temperature (projected)
2020	2010-2040	1.1°C
2050	2040-2070	2.1°C
2080	2070-2100	3.2°C

Source: Scoping Study, CCCDM, Anna University for WASCA-TN, GIZ, Nov 2019)



**Table 3.9. Projected Future Changes in Annual Minimum Temperature by PRECIS, Reginal climate model projections for Mid and End Century with Base line of 1981-2010 for Tiruvannamalai District**

Projection with respect to baseline (projection Period)	Minimum Temperature (projected)
2020 (2010-2040)	1.10°C
2050 (2040-2070)	2.40°C
2080 (2070-2100)	3.70 °C

Source: Scoping Study, CCCDM, Anna University for WASCA-TN, GIZ, Nov 2019

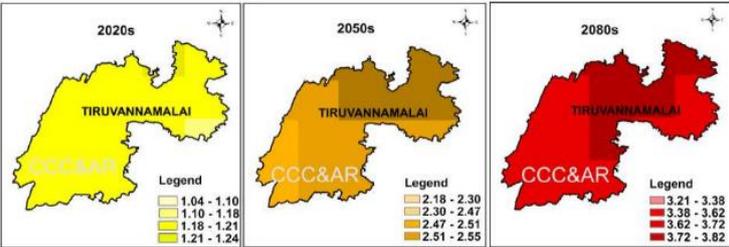


Figure 67 : Perspectives des températures minimales et maximales du district de Tiruvannāmalai, source : WASCA, 2021

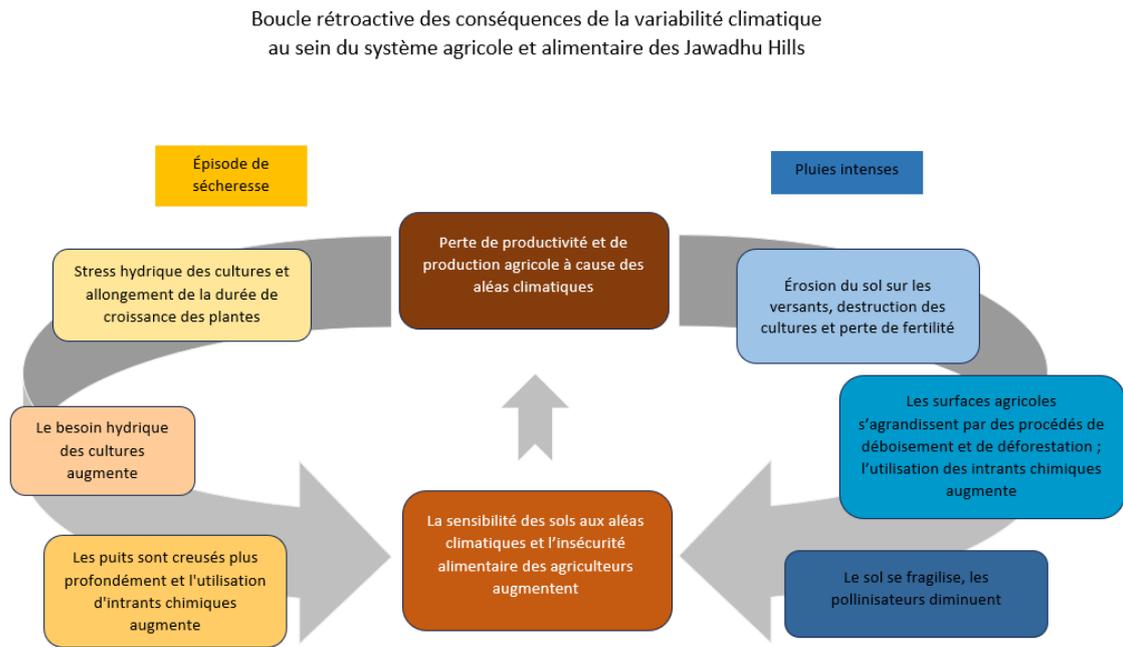


Figure 68 : Boucle de rétroaction négative des systèmes agricoles et alimentaires des JH, N. Atek, 2023

Il a été demandé aux agriculteurs rencontrés d'identifier les menaces qui pèsent sur leurs activités agricoles. Pour rappel les entretiens de groupe sont analysés en tant qu'unité par manque de nuance dans les réponses à l'intérieur des groupes, sur les six entretiens réalisés cinq enquêtés ont mentionné leur crainte face à l'intensification des épisodes de pluies violentes. Le Groupe 2 et l'agriculteur B redoutent de nouveaux épisodes de fortes sécheresses sur le territoire. L'agriculteur A dont l'exploitation est la plus sensible à l'érosion du sol craint que celle-ci s'aggrave les prochaines années. Seulement un agriculteur redoute une augmentation des prix des fertilisants et des graines. Globalement la crainte des agriculteurs relève de la variabilité des précipitations et de l'intensification des épisodes climatiques extrêmes. Aucun élément sur les températures ou la ressource en eau sur le long terme ont été nommés. Il est peut-être difficile pour les populations d'observer ou de ressentir une augmentation de la température ou alors seulement lors d'événements ponctuels non pas sur le moyen et le long terme. Le même constat est fait pour l'évolution des précipitations annuelles. Il serait intéressant d'interroger les agriculteurs sur leur perception de l'évolution des précipitations annuelles à l'aide d'indicateurs qu'eux connaissent comme l'évolution de leur quantité de stock d'eau dans leur puit ou encore l'évolution de leur production agricole

annuelle. L'approche quantitative des précipitations n'est pas toujours adaptée aux locaux, c'est pourquoi l'identification d'indicateurs adaptés au quotidien des agriculteurs faciliterait à la fois leur compréhension du contexte territorial et la récolte de données quantitatives et qualitatives intéressantes.

Ainsi, les études climatologiques et l'enquête qualitative menée auprès des agriculteurs des JH se complètent car la première offre une approche sur le moyen et long terme à partir de données quantitatives que les agriculteurs ne possèdent pas et l'autre apporte des données qualitatives sur les craintes des agriculteurs à partir de leurs expériences vécues. Il est difficile pour eux de parler d'avenir sur des échelles temporelles de 10 à 30 ans car leur niveau de vie est dépendant de circonstances climatiques variables, leur quotidien est défini par des événements à court terme comme la production agricole d'une année à l'autre. Les craintes mentionnées par les agriculteurs sont donc de l'ordre d'événements plus ponctuels alors que les études de perspectives climatiques apportent des éléments observables à l'aide de base de données quantitatives sur de longues périodes dont les agriculteurs n'ont pas connaissance. Dans tous les cas les menaces perçues par les agriculteurs ne sont pas dissonantes avec la réalité et correspondent aux perspectives proposées par la sphère scientifique dans le district de Tiruvannāmalai et le bloc des Jawadhu Hills soit : une augmentation de la fréquence et une intensification des événements extrêmes climatiques, et une augmentation des températures.

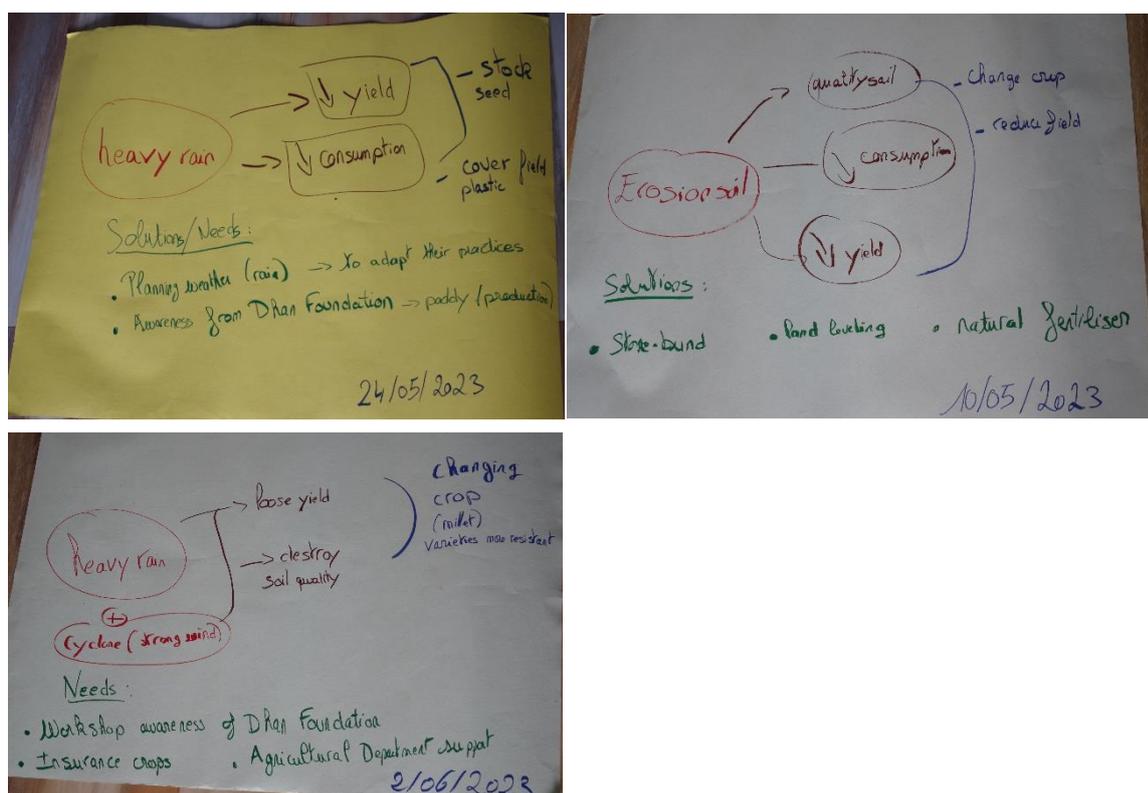
Il a été également demandé aux agriculteurs d'imaginer leurs activités de demain dans 10, 20 voire 30 ans, cette question leur a posé une réelle difficulté. En effet, elle a mis mal à l'aise ou a suscité des interrogations auprès des groupes d'agricultrices rencontrées ne savant pas quoi répondre. Pour rappel la majorité des agricultrices rencontrées en groupe sont intégralement en agriculture pluviale et migrent une partie de l'année. Leur production est à la fois pour leur propre consommation et un moyen de revenu économique, pour elles leur souhait premier est de pouvoir continuer autant que possible à subvenir à leur besoins et ceux de leur famille, souvent cela signifie continuer leurs activités. Il n'est pas question de changement drastique dans leurs activités agricoles, d'ailleurs les agriculteurs des Jawadhu Hills ont toujours fait face aux variabilités climatiques naturelles qui existent, ainsi spontanément les agriculteurs s'adaptent et modifient leurs pratiques agricoles sans pour autant les considérer comme des changements mais comme étant leur mode d'agriculture

quotidien. Pour toutes ces raisons une partie des agriculteurs rencontrés ont simplement signalé leur souhait de subvenir à leurs besoins en continuant leurs activités agricoles comme ils l'ont toujours fait. Une volonté de développer et d'améliorer leurs activités agricoles a surtout été observée auprès des agriculteurs en culture mixte. En effet, deux agriculteurs ont parlé de produire plus d'agriculture irriguée dont des *contract crop* car plus rentable financièrement et moins dépendante de la variabilité climatique ce qui leur permettraient d'être plus confortable dans leur quotidien. L'agriculteur D, qui possède la plus grande surface agricole parmi les six enquêtés souhaite continuer à agrandir son exploitation pour la production de manguiers (2 âcres), de *paddy* et de *samai* (5 âcres). Puis l'agriculteur A qui connaît un problème sévère d'érosion du sol souhaite à terme ne plus utiliser de produits chimiques conscient que cela fragilise davantage ses terres. Ainsi, il a été remarqué que les agriculteurs ayant de plus grande exploitation ou une situation financière plus confortable due à la production de culture irriguée ont plus de facilité à exprimer leur volonté de développer leur agriculture que les agriculteurs ayant de plus petites exploitations en culture pluviale. Cependant la priorité de tous les agriculteurs rencontrés reste de subvenir aux besoins de leur famille par la production de denrées alimentaires pour leur propre consommation. Qu'en est-il de leurs attentes vis-à-vis des acteurs locaux pour améliorer leurs conditions de vie ?

### 3.3.2 Entre amélioration des connaissances et soutiens techniques, quelles attentes des agriculteurs pour améliorer leur capacité de résilience face aux aléas climatiques ?

Les agriculteurs ont été assez volontaires pour partager leurs attentes vis-à-vis des acteurs locaux et leurs besoins pour améliorer leurs conditions de travail. En effet, il leur a été demandé de décrire leurs attentes concernant la *DHAN Foundation*, partenaire du programme PATAMIL et principal acteur des Jawadhu Hills qui participe à la réduction de la pauvreté et au développement agricole local. Le but de cette question était d'identifier les leviers d'actions futures de la *DHAN Foundation* pour répondre aux besoins des locaux. Le Département de l'Horticulture et des Cultures (DHC) du district de Tiruvannāmalai est le second acteur territorial impliqué dans le développement agricole des JH, ses actions se concentrent sur la mise en œuvre de programmes régionaux et nationaux auprès de fermiers à travers leur

bureau local situé à Jamunamarathur. Les besoins et attentes des agriculteurs formulés lors des entretiens ont été classés en trois catégories : les besoins d'ordre matériels et techniques, les besoins liés aux connaissances et aux savoirs et les besoins de protection. Ils apparaissent en vert sur les schémas de PRA réalisés durant les entretiens, présentés sur la série de photographies 31.



Photographies 31 : Arbre à problème/solution réalisé durant les entretiens (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek

L'aide matérielle et technique est l'un des premiers éléments évoqué par les agriculteurs pour améliorer leurs conditions de travail. Souvent cela concerne la mise en place d'outils déjà existant sur le territoire comme les *stone-bund* abordés dans la partie 3.1.3 qui consiste à atténuer l'érosion du sol sur une parcelle. L'agriculteur A, qui est le principal concerné par ce problème est intéressé par l'installation de ce dispositif sur son exploitation qui est organisée en quatre terrasses superposées les unes aux autres et subissent une érosion du sol sévère. Il souhaiterait pouvoir bénéficier de l'aide à l'installation de *stone-bund* proposée par la *DHAN Foundation*. Pour compléter, il mentionne son intérêt pour effectuer un

nivellement sur son exploitation afin d'optimiser son système d'irrigation. Le nivellement des terres consiste à aménager une parcelle agricole de manière à assurer une irrigation optimale et homogène sur toute la parcelle. Une meilleure irrigation insinue une amélioration de la productivité. Ce même agriculteur est également intéressé par la production de *contract crop*, car pour le moment il produit seulement du *paddy* et du millet. Selon lui, les *contract crop* sont un moyen plus sûr de générer des revenus pour sa famille car sa production est certaine d'être achetée contrairement à ses autres cultures qui souffrent de l'isolement de son exploitation pour leur revente.

Les besoins en connaissances et savoirs ont été les plus mentionnés par les agriculteurs interrogés. En effet, il y a une volonté de partager et d'en apprendre davantage sur le territoire et la manière d'adapter les pratiques aux circonstances climatiques. Par exemple, les deux plus grands agriculteurs rencontrés (C et D) souhaiteraient que le Département de l'Horticulture et des Cultures (DHC) du District de Tiruvannāmalai réalise des analyses sur l'état de leur sol et la qualité de l'eau qu'ils utilisent. Ces demandent font écho aux carottages effectués par Cécile Grosbois et Sébastien Salvador-Blanes du laboratoire du GéHCO à Tours en mars 2023 sur ces deux exploitations et dont les résultats seront partagés dans le courant de l'année 2023 aux agriculteurs. Les agriculteurs encouragent la poursuite d'ateliers de sensibilisation et de *workshop* animés par la *DHAN Foundation* sur la variabilité climatique. Les groupes de partage de connaissances et d'expériences sont très appréciés par les agriculteurs, ils offrent à certains agriculteurs un moyen de rompre avec l'isolement et d'améliorer leur production grâce à des retours d'expériences vécues sur leur territoire. Certains agriculteurs comme l'enquêté D attendent également du DHC des conseils pour protéger les cultures face aux épisodes de fortes pluies. La dégradation voire la destruction des cultures à cause des épisodes de pluies intenses est le principal problème relevé dans les Jawadhu Hills. La recherche d'initiative via un travail de parangonnage et d'échange à travers le *DHAN Foundation* est donc pertinent pour répondre aux problématiques territoriales. Que ce soit par de la recherche bibliographique en Inde ou à l'étranger que par des recherches empirique à l'aide d'enquête auprès des agriculteurs, l'acquisition de savoirs nouveaux ou autochtones et locaux, et leurs diffusion peuvent constituer une piste pour adapter les pratiques agricoles des JH aux aléas climatiques rencontrés. D'ailleurs le GIEC reconnaît dans ces derniers rapports l'importance des savoirs locaux et autochtones dans l'atténuation et l'adaptation au changement climatique. Il est

entendu par savoir local les « connaissances et techniques développées par des personnes et des populations en fonction de l'endroit où elles résident. Le savoir local oriente des décisions fondamentales touchant les activités quotidiennes comme les actions à long terme. » Alors que les savoirs autochtones concernent les « connaissances, techniques et philosophies développées par les sociétés ayant une longue histoire d'interaction avec leur environnement naturel. » (GIEC, 2018). Le cas des Jawadhu Hills et de la revalorisation du millet par le Gouvernement indien illustre bien ce propos car la culture du millet est issue d'une agriculture traditionnelle des populations des collines, et il trouve tout son intérêt dans un contexte de changement climatique par le fait qu'il s'agit d'une plante résistante à la sécheresse et facile à cultiver.

Pour les agriculteurs il s'agit également de connaître les conditions climatiques et d'anticiper les aléas extrêmes pour adapter au mieux leurs activités agricoles. Les prévisions météorologiques constituent un levier intéressant à étudier dans les Jawadhu Hills, 9 agriculteurs sur 17 sont intéressés par un dispositif qui leur permettraient de connaître la météo pour optimiser leur production. Cependant cette volonté se heurte aux réalités techniques car à ce jour il existe qu'une seule station météorologique en fonctionnement depuis 2008 dans les Jawadhu Hills rattachée à l'Observatoire Vainu Bappu et la fiabilité de ces données semble limitée. Depuis trois ans une nouvelle personne a la charge de la station météorologique et la récolte des données est plus complète, ce qui ouvre à la réflexion pour l'installation d'un système de prévision météorologique.

Enfin, le dernier besoin mentionné par les agriculteurs est celui de la protection, ici il est question de proposer des assurances aux agriculteurs qui les couvriraient en cas de perte de récoltes dues à des aléas climatiques extrêmes. En cas du sinistre les agriculteurs pourraient recevoir une indemnités afin de lutter contre leur insécurité alimentaire et amortir leurs pertes jusqu'à la prochaine récolte. Le Département de l'Horticulture et des Cultures du district de Tiruvannāmalai a déjà mis en place ce dispositif auprès des agriculteurs en 2016 et a été réitéré chaque année jusqu'en 2021 dans le cadre du programme *Ppradhan Mantri Fasal Bhima Yojana*. Il s'agirait donc de continuer cette action et de l'étendre au Jawadhu Hills, car aucun des agriculteurs rencontrés ne bénéficiaient d'une assurance agricole alors il est supposé que pour le moment la majorité des agriculteurs des JH sont non couverts. Cela peut s'expliquer par leur isolement ou encore par le type de leurs cultures car *a priori* les cultures concernées

par le programme sont les bananes, le tapioca, le curcuma, l'oignon et les piments ce qui ne représente pas le profil agricole des JH qui est dominé par la production de millet.

Les outils et moyens d'améliorer les conditions de travail des agriculteurs des Jawadhu Hills sont donc multiples et déjà en cours de développement et de diffusion. Certains restent encore à être développés comme la prévision météorologique ou la mise en place d'assurance agricole et d'autres méritent d'être diffusés aux populations les plus isolées et précaires. Pour cela la *DHAN Foundation* joue un rôle central car il s'agit du premier intermédiaire qui construit une passerelle d'abord entre les agriculteurs d'un même territoire puis entre les agriculteurs et les acteurs externes aux Jawadhu Hills, comme l'État. Les initiatives de la *DHAN Foundation* semblent dans tous les cas appréciés par les locaux et leur apporter des outils et des espaces d'expression et de sociabilisation.

L'enquête menée dans les Jawadhu Hills s'est confrontée à quelques difficultés techniques entre autres la disponibilité des référents locaux de la *DHAN Foundation*, jouant le rôle de facilitateur et les biais de langages dus à une double traduction et une perte de vocabulaire. Au total 17 agriculteurs ont été rencontrés, 4 agriculteurs de manière individuelle et 13 agricultrices divisées en deux groupes (l'un de 5 l'autre de 8 agricultrices). Même s'il y a une certaine hétérogénéité dans les profils des enquêtés, les agriculteurs situés en haut de versant dans des zones de forts reliefs sont sous représentés. Concernant les profils agricoles, trois ont été identifiés : les agriculteurs exclusivement en agriculture pluviale de millet, qui migrent durant la saison sèche ; les agriculteurs en culture mixte soit irriguée (*paddy*/légumes) et pluviale (millet/*horsegram*) ; et les agriculteurs en culture mixte avec des *contract crop* de coton, concombre et cornichon. Tous les agriculteurs rencontrés produisent du petit mil en agriculture pluviale, et seuls les groupes d'agricultrices ne produisent pas de riz. Les principales perturbations climatiques qui impactent les activités agricoles sont les épisodes de fortes pluies, les épisodes de sécheresse et de vent violent. La problématique de l'érosion du sol a été également nommée en tant que telle, même si celle-ci ne constitue pas une manifestation climatique mais plutôt en est une conséquence et qu'elle ne concerne pas la majorité des enquêtés, les acteurs locaux s'accordent à souligner son importance dans les Jawadhu Hills. En effet, l'érosion du sol est l'une des principales cause de dégradation des terres en Inde, les Jawadhu Hills n'y échappent pas et sont concernés par la problématique d'érosion hydrique. *A priori*, trois facteurs seraient à l'origine de cette sensibilité territoriale à l'érosion. D'abord, l'étude des politiques forestières indiennes a révélé que l'Inde a connu une vague de déforestation dans les années 1970-1980 dans un contexte de post révolution verte où la priorité nationale est de nourrir le pays. L'État du Tamil Nadu aurait donc donné des terrains forestiers aux populations tribales sans terre à cette période. Par ailleurs, l'étude comparative de l'évolution de l'occupation du sol entre 2005 et 2015 dans les JH a révélé une augmentation des terres agricoles au profit de terrains broussailleux. De plus, la réalisation de cartographies des zones sensibles à l'érosion avec le relief des JH a montré que les zones de forts reliefs étaient sujet à une forme d'érosion sévère comparées aux espaces situés en plaine dont le degré d'érosion est modéré. Alors que le lien entre l'agriculture et la topographie des Jawadhu Hills avec l'érosion du sol semble évident, il ne peut être confirmé avec la déforestation des

années 70-80 car celle-ci reste fondée sur des suppositions par manque de données. Parmi les agriculteurs rencontrés, deux connaissent une problématique d'érosion, l'un sur toutes ses parcelles l'autres seulement sur ses parcelles en versant. L'agriculteur dont toutes les parcelles subissent l'érosion du sol déplore une perte de production et de productivité de ces cultures causées par la destruction des plants et la déstructuration du sol qui perd en fertilité. En réaction à cela, celui-ci diminue les parcelles cultivées alors que l'agriculteur ayant moins d'impact sur ses cultures optent pour l'installation de *stone-bund*. En parallèle, depuis 2019 la DF soutient les agriculteurs face à la problématique de l'érosion en installant cinq *stone-bund* dans le *panchayat* de Kannamalai, territoire à fort relief avec des pentes supérieures à 60%.

Les aléas climatiques extrêmes (forte pluie, sécheresse, vent violent) perturbent directement les cultures des agriculteurs des JH notamment leur calendrier agricole. Pour leur croissance, les plantes ont besoins de lumière, d'eau et de CO<sup>2</sup> en plus d'autres paramètres minéralogiques et physiques, la modification de l'un de ces éléments a des répercussions sur leur croissance. C'est le cas du CO<sup>2</sup>, dans un contexte de changement climatique qui se traduit par une augmentation de la teneur en CO<sup>2</sup> dans l'atmosphère, celui-ci peut être un fertilisant pour les cultures et donc être bénéfique. Cependant, bien souvent ce phénomène est accompagné d'autres modifications des conditions biophysiques comme la hausse des températures qui diminuent l'effet fertilisateur du CO<sup>2</sup> et allonge le cycle de croissance des plantes dont leur besoin hydrique augmente et avec elle, leur vulnérabilité à la sécheresse. Les épisodes de sécheresse surviennent le plus souvent durant la mousson du sud-ouest – production de millet ou de légume - et les épisodes de fortes pluies durant la mousson du nord-est - production de millet ou *horsegram*. Selon le moment où surviennent les aléas climatiques par rapport au cycle de croissance des cultures, le calendrier agricole est sans cesse réadapté. Cette perturbation du calendrier peut être particulièrement contraignante pour les agriculteurs qui sont en culture exclusivement pluviale. En effet, la gestion de la ressource en eau apparaît également comme un enjeu de taille pour les agriculteurs des JH. Parmi les quatre agriculteurs interrogés, trois possèdent des puits individuels et un est équipé d'un système d'irrigation relié au réseau d'eau courante. Seulement 4 sur 13 agricultrices possèdent un puit individuel, à savoir qu'uniquement 10% des terres agricoles des JH sont irriguées, les systèmes agricoles des JH ont donc une grande dépendance à la mousson. Ainsi, posséder un puit est un réel avantage pour stocker de l'eau durant les épisodes de fortes pluies

et subvenir aux besoins agricoles en cas de sécheresse. Pour atténuer cette dépendance à la mousson qui concerne la majorité des agriculteurs des JH, la DF a rénové et construit entre 2022 et 2023 cinq étangs « fermiers ». Situés en aval de bassin versant, souvent en fond de vallée, ces étangs assurent une ressource en eau de manière mutualisée pour les agriculteurs environnant.

Les systèmes agricoles et alimentaires sont donc mis en péril par l'intensification des aléas climatiques extrêmes qui se traduit par une baisse de la production et de la productivité comme observée dans les Jawadhu Hills. Cependant cette vulnérabilité est à nuancer selon les profils des agriculteurs des JH, les exploitations marginales et petites ne possédant pas de puits et étant exclusivement en agriculture pluviale semblent plus vulnérables que les deux autres profils agricoles. Leur production est destinée à l'autoconsommation en totalité ou en partie et à la revente, et comme activité complémentaire les familles sont contraintes de migrer dans les États voisins durant la saison sèche. Par conséquent, leur niveau de vie économique et social est plus facilement fragilisé par les aléas climatiques. D'autres facteurs de vulnérabilité alimentaire influencés par les aléas climatiques peuvent également survenir comme l'augmentation de ravageurs, de maladies et de pathogènes destructeurs de culture, ou encore la diminution des pollinisateurs. La volatilité des prix et les difficultés d'accessibilité physique au point de vente pour cause de la destruction des routes concernent aussi les agriculteurs des JH. Enfin, des détériorations atteignant la qualité des produits agricoles et alimentaires peuvent survenir durant la transformation, transport et le stockage des aliments.

L'analyse prospective réalisée montre des scénarios à deux niveaux : selon les études climatologiques quantitatives d'acteurs institutionnels et académiques qui proposent des scénarios à moyen et long terme sur un espace plus large ; et les visions qualitatives plus localisées et à court terme des agriculteurs. Les deux approches se complètent et offrent un panorama des menaces et risques qui pèsent sur les JH. Ainsi, les études climatologiques montrent une diminution de la quantité des précipitations annuelles et une augmentation des températures minimales et maximales dans les Jawadhu Hills tandis que les agriculteurs parlent d'une intensification des événements plus ponctuels comme les pluies intenses et les sécheresses. Lorsque les agriculteurs s'essaient à imaginer leurs activités agricoles de demain, leur principale priorité est de subvenir aux besoins de leur famille sans pour autant changer leurs pratiques agricoles. L'enquête révèle le décalage conceptuel qui existe entre les

enquêteurs et les agriculteurs enquêtés, car pour eux leurs modes d'agriculture sont en perpétuelles mutation et s'adaptent aux conditions climatiques naturellement caractérisées par une grande variabilité. Cette adaptation constante des pratiques agricoles ne constitue pas un changement mais représente leur mode d'agriculture dans leur ensemble. Trois types de besoins ont été recensés auprès des agriculteurs pour les aider à faire face aux difficultés agricoles rencontrées. Leurs attentes concernent le plus souvent la *DHAN Foundation* et le Département de l'Horticulture et des Cultures du district de Tiruvannāmalai (DHC). Tout d'abord, des aides matériels et techniques, comme l'installation de *stone-bund* ou le nivellement de terrains agricoles ; le besoin en connaissances et savoirs, notamment des expertises sur la qualité des sols et de l'eau menées par le DHC et la poursuite d'ateliers de sensibilisation et *workshop* sur la variabilité climatique et les modes d'agriculture animés par la DF. Les agriculteurs apprécient particulièrement les espaces d'échanges mis en place par la DF à travers les groupes de fermiers qui aident à la diffusion des savoirs locaux et autochtones et sont un moyen de rompre avec l'isolement que connaît certains agriculteurs. Enfin, le dernier besoin correspond à la protection de leur activité en cas de pertes causées par les aléas climatiques à l'aide d'assurances agricoles proposées par l'État.

## Conclusion

Les Jawadhu Hills sont un territoire de moyenne altitude qui accueille 52 000 habitants selon le dernier recensement indien de 2011. Avec 71% d'actifs travaillant dans le secteur agricole, le territoire est dominé par une agriculture de subsistance dont 90% des terres cultivées sont destinées à la production de millets en agriculture pluviale. Cette activité dépend fortement de la mousson indienne, principal régime de précipitations du sous-continent indien qui apporte 80% des précipitations annuelles entre juin et décembre dans le bloc des JH. Ce phénomène climatique d'échelle synoptique se distingue par une grande variabilité inhérente à son mode de fonctionnement, la mousson indienne est aussi certaine qu'imprévisible. Que ce soit pour se nourrir ou générer un revenu financier, la sécurité alimentaire de la population des JH est directement liée à cette variabilité. Dans un contexte de changement climatique, ses effets sur la variabilité climatique des Jawadhu Hills risquent d'augmenter la vulnérabilité de la population. Cependant, le changement climatique est un phénomène planétaire, bien que les derniers rapports du GIEC mettent en évidence ses manifestations déjà observables dans le monde et son accélération, qu'en est-il à une échelle bien plus localisée ? Le changement climatique est-il observable dans les Jawadhu Hills ou s'agit-il des manifestations de la variabilité inhérente à la mousson ? Peut-il être caractérisé ? La perception des agriculteurs se révèle être un outil pour identifier les perturbations climatiques qu'ils subissent. Étant donné que la variabilité de la mousson a toujours existé et que la production de millets en agriculture pluviale est une activité traditionnelle, les manifestations observées sont-elles réellement vécues comme des perturbations par les *adavasis* ? Quelles sont leurs réactions face à ces perturbations ? L'amélioration des conditions de vie de la population est un objectif partagé par les habitants et les acteurs locaux comme la *DHAN Foundation*, alors quelles sont leurs stratégies pour anticiper les variabilités climatiques, qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique ?

Ce travail tente d'apporter des éléments d'éclairage à ces interrogations à travers une étude réalisée *in situ* pendant quatre mois auprès des agriculteurs et de la *DHAN Foundation*. Il s'articule autour de trois productions originales : une étude climatologique des précipitations sur 70 ans dans le district de Tiruvannāmalai, effectuée à l'aide de données mises à disposition par le Gouvernement indien ; la comparaison des tendances de précipitations entre le district de Tiruvannāmalai et le bloc des Jawadhu Hills entre 2009 et 2022 grâce aux données de

l'Observatoire astronomique de Vainu Bappu et celles de la *DHAN Foundation* et l'analyse des microclimats des Jawadhu Hills via le recueil de témoignages et l'observation de terrain ; puis la réalisation d'une enquête qualitative sur la perception du changement climatique et les réactions des agriculteurs lors de six entretiens menés avec 17 enquêtés sur le terrain.

La synthèse des productions scientifiques sur le changement climatique en Inde a montré que le pays cumule tous les extrêmes climatiques, variables dans l'espace et dans le temps. Le Nord du pays est sensible à des épisodes de pluies diluviennes qui provoquent des glissements de terrains et des inondations meurtrières, le Centre et le Sud sont plutôt sujet à des épisodes de sécheresse qui mettent en péril les activités agricoles et la ressource en eau, les côtes Ouest et Est sont victimes des cyclones tropicaux provenant de la Mer d'Arabe et du Golfe du Bengale, et les villes étouffent sous des vagues de chaleur. L'évolution de ces phénomènes extrêmes climatiques montre une augmentation de leur fréquence et leur intensification, directement liées au changement climatique. Le régime de précipitations est au centre de ces perturbations. La mousson indienne est un phénomène climatique dont les mécanismes sont régis par des facteurs endogènes et exogènes à l'Inde. La géomorphologie du sous-continent indien dont la topographie joue un rôle clé dans la formation de précipitations locales et les forçages externes d'échelle synoptique et planétaire tels que le Dipôle de l'Océan Indien et le phénomène El Niño-Oscillation Australe (ENSO) participent à la formation de la mousson. Par ailleurs, même si le lien de causalité n'est pas automatique entre les phases extrêmes de ces deux phénomènes et les événements climatiques sévères en Inde et il est admis, entre autres par le Dr. Michael McPhaden de la NOAA<sup>23</sup> et par la climatologue indienne Sulochana Gadgil, que les phases d'El Niño coïncident avec des épisodes de sécheresse et que les phases de La Niña provoquent des épisodes de pluies diluviennes en Inde. De plus, le changement climatique pourrait bien augmenter le nombre d'événements extrêmes El Niño et La Niña et rendre les événements forts encore plus intense. Ainsi, le changement climatique exacerbe la variabilité spatiotemporelle naturelle de la mousson indienne à l'échelle nationale, qu'en est-il à l'échelle des Jawadhu Hills ? Pour réaliser une étude climatologique sur l'évolution des précipitations à l'échelle des Jawadhu Hills il est nécessaire d'avoir des données complètes journalières, mensuelles et annuelles sur une étendue d'au moins 30 ans. Trouver de telles données à l'échelle du bloc des Jawadhu Hills a

---

<sup>23</sup> *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) des Etats-Unis

été fortement limitée par le fait que le Gouvernement indien met à disposition seulement des données nationales, étatiques et à l'échelle des districts. En outre, les Jawadhu Hills ont été équipés d'une station météorologique qu'à partir de 2008, donc les données collectées auprès de l'Observatoire astronomique de Vainu Bappu concernent seulement les années 2009 à 2022. S'ajoute à cela l'aporie des données partagées par l'observatoire car sur 14 ans seules quelques années non consécutives ont des données journalières complètes. Au regard de ces éléments le choix a été fait de réaliser une étude climatologique sur l'évolution des précipitations à l'échelle spatiale supérieure aux JH, soit le district de Tiruvannāmalai de 1950 à 2022.

À partir des connaissances acquises à l'échelle nationale, l'étude du district s'est concentrée sur l'évaluation des épisodes de sécheresse, des pluies intenses et la corrélation qu'il existe entre les événements extrêmes ENSO et les perturbations de la mousson. Les deux dernières décennies comptent les records de sécheresse et de précipitations sur 70 ans. L'étude à l'aide de l'indicateur SPI montre une plus grande variabilité de la mousson interannuelle et intra-saisonnière ces vingt dernières années. Les sécheresses météorologiques sont plus fréquentes, plus longues et plus intenses au cours de la seconde partie du XXI<sup>e</sup> siècle : par exemple, l'année 2002 est la plus sèche enregistrée sur les 72 dernières années, avec des précipitations annuelles de 253,89 mm sur les 1 046 mm attendues. Les épisodes de pluies intenses ont lieu davantage durant la mousson du nord-est et les épisodes de sécheresse se produisent généralement pendant la mousson du sud-ouest. Les épisodes de pluies intenses sont plus violents, l'année 2007 enregistre la plus grande quantité de précipitations tombées en 24h avec 207,49 mm soit l'équivalent des précipitations du mois d'octobre. Plus globalement la répartition des pluies à l'échelle annuelle selon des seuils d'intensité montre que le pourcentage des pluies assez fortes (41 à 60mm/24h) est de plus en plus important au détriment des pluies classées comme légères de 0,01 à 12mm/24h. Pour ce qui est du lien de cause à effet entre les phases extrêmes ENSO et les événements climatiques sévères les résultats obtenus ne sont pas aussi évidents, entre 1950 et 2022 il y a autant d'années El Niño et La Niña qui coïncident avec des phénomènes extrêmes climatiques que des années situées dans les normales de précipitations du district. L'étude climatologique menée dans le district de Tiruvannāmalai montre alors que le changement climatique est

observable à travers l'intensification des épisodes extrêmes de sécheresses et de précipitations à l'échelle du district.

À partir de ces éléments, comment caractériser le changement climatique dans les Jawadhu Hills ? Les précipitations annuelles et mensuelles du district et du bloc ont été comparées entre les années 2009 et 2022, même s'il s'agit d'une étendue temporelle restreinte les tendances de précipitations des deux territoires sont plutôt parallèles. Les quelques divergences notables de précipitations peuvent être dues aux spécificités paysagères des Jawadhu Hills. En effet, le territoire est composé d'un panel de paysages : un large plateau situé au centre, entouré de plusieurs ceintures de moyens reliefs formant aux extrémités des vallées plus ou moins étroites avec des pentes pouvant excéder les 60% de dénivelé. Ce morcellement est propice à la création de microclimat à l'intérieur de l'entité des JH, d'ailleurs relevés par la *DHAN Foundation* et observés sur le terrain. Ces microclimats complexifient l'étude des précipitations et par extension du changement climatique dans les JH. À ce niveau de l'étude, il est difficile d'affirmer l'hypothèse que le changement climatique est observable dans les JH contrairement à l'échelle du district. Les données quantitatives ne permettent pas une étude climatologique sur le long terme offrant ainsi un panorama de l'évolution des événements extrêmes climatiques. Étant donné que les tendances de précipitations aux deux échelles spatiales suivent les mêmes tendances entre 2009 et 2022, les manifestations du changement climatique à l'échelle du district de Tiruvannāmalai sont pour le moment extrapolées au bloc des Jawadhu Hills, mais cette étude n'est pas suffisante.

C'est pourquoi, pour décrire au mieux la réalité climatique du quotidien des agriculteurs, une enquête auprès de 17 agriculteurs a été réalisée, quatre individuels et deux de groupe. Lors de chaque entretien au moins un référent local de la *DHAN Foundation* été présent à la fois pour faciliter les échanges et la prise de contact avec les agriculteurs et pour traduire de l'anglais au tamoul les questions posées. La doctorante S. Manjubarkavi, partenaire du programme PATAMIL, a été également d'une grande aide pour la réalisation d'entretien de groupe. Même si les agriculteurs des hauts versants sont sous représentés, l'échantillon d'agriculteurs est tout de même hétérogène et assez représentatif du profil agricole du territoire, tous les agriculteurs rencontrés produisent du petit mil en agriculture pluviale. Les agriculteurs se distinguent par la surface d'exploitation, leur système d'irrigation et leur culture. Trois profils agricoles ont été relevés : les agriculteurs exclusivement en agriculture

pluviale de millet, qui migrent durant la saison sèche ; les agriculteurs en culture mixte irriguée (*paddy*/légumes) et pluviale (millet/*horsegram*) ; et les agriculteurs en culture mixte avec des *contract crop* de coton, concombre et cornichon. La principale limite de cette enquête réside dans la double traduction qui entraîne une perte de vocabulaire et une simplification dans les réponses apportées. Les perturbations climatiques observées par les agriculteurs sont les épisodes de fortes pluies, les sécheresses et les vents violents. Les fortes pluies détruisent les cultures et détériorent la qualité des sols notamment situés en versant, ces exploitants sont particulièrement sensibles à l'érosion du sol. Quant aux sécheresses, elles entraînent des périodes de croissance culturale plus longues qui allongent également le besoin hydrique des cultures. Toutes ces perturbations influencent le calendrier agricole qui est sans cesse adapté et touchent directement la production et la productivité des activités agricoles. À ce stade de l'étude, les variabilités climatiques observées par les agriculteurs sont-elles attribuées à l'action du changement climatique ? Est-il véritablement perçu par les communautés rurales ? Les observations recensées coïncident avec celles faites à l'échelle du district donc de prime à bord une réponse plutôt positive est apportée. Mais est-ce suffisant pour parler de changement climatique alors que la mousson est empreinte à une grande variabilité naturellement ? Deux points sont alors à discuter : d'abord l'enquête réalisée ne mesure pas l'évolution des aléas climatiques mais indique la nature de ses événements extrêmes qui sont naturellement le fait de la variabilité de la mousson. Par conséquent, il n'est pas possible d'évaluer s'il y a une intensification des sécheresses et des pluies extrêmes comme constatée à l'échelle du district. De plus, les Jawadhu Hills sont composés de systèmes socio-climatiques complexes qui combinent des actions humaines (déforestation, utilisation d'intrants chimiques, forage de puits de plus en plus profond) et la variabilité climatique (pluie intense, sécheresse et vent violent). Ces systèmes forment des boucles de rétroaction où les populations, victimes des variabilités climatiques, alimentent par leurs actions la précarité des systèmes alimentaires et agricoles des Jawadhu Hills. Ainsi, l'action humaine se cumule à la variabilité de la mousson et au potentiel changement climatique, le curseur est donc difficile à placer entre l'intervention de ces trois variables dans les JH.

La sécurité alimentaire des agriculteurs est directement menacée par ces variabilités, même si ils ne semblent pas tous égaux face à cette menace. En effet, il s'est avéré que les agriculteurs marginaux avec des cultures intégralement pluviales sont complètement

dépendant de la variabilité de la mousson. Alors que les deux autres profils agricoles qui ont souvent des exploitations plus grandes, possèdent des systèmes d'irrigation leur permettant de varier leurs cultures, d'être plus autonome en ressource en eau et donc de diversifier leur source de revenu. Alors quelles sont les stratégies adoptées par les agriculteurs et les acteurs locaux pour réduire leur vulnérabilité et améliorer leur condition de vie ? Pour faire face à cette situation, deux réactions sont recensées : l'atténuation et l'adaptation. La première consiste à réduire l'impact du problème, le second à en tirer une plus-value. La *DHAN Foundation* est l'un des acteurs les plus actifs pour proposer des solutions adaptées aux agriculteurs et les accompagner dans leur processus d'anticipation : l'installation de *stone-bund* pour diminuer l'érosion du sol et la rénovation d'étang collectif assurant la ressource en eau des terres agricoles à proximité sont les principales actions menées de concert par l'ONG indienne et les agriculteurs.

L'anticipation est une démarche dans laquelle des mesures sont mises en place avant la réalisation d'événements supposés ou attendus. Les événements en question dans les JH sont déterminés grâce à des études prospectives de moyen à long terme réalisées par des acteurs académiques et institutionnels et à l'aide du point de vue plus localisé et à court terme des agriculteurs du territoire. D'un côté une diminution des précipitations annuelles et l'augmentation des températures minimales et maximales sont prévues dans les Jawadhu Hills, de l'autre l'intensification des épisodes climatiques extrêmes est crainte par les agriculteurs. Dans tous les cas l'amélioration des conditions de vie est un objectif partagé par les acteurs locaux et les agriculteurs, les leviers d'actions mis en lumière par ces derniers s'articulent autour de trois besoins : des besoins techniques qui s'inscrivent dans la continuité des actions menées par la DF ; des besoins en savoirs et connaissances notamment sur la qualité du sol et de l'eau mais encore à propos des prévisions météorologiques pour optimiser la planification agricole ; des besoins de protection via la mise en place d'assurance agricole proposée par le Département de l'Horticulture et des Cultures du district de Tiruvannāmalai. *A priori* pour les agriculteurs il n'est donc pas question de solution miracle ou d'innovation technologique révolutionnaire pour améliorer leur condition de vie, les échanges *in situ* ont plutôt mis en avant une volonté de répondre à leur besoin primaire en améliorant leurs connaissances et leurs compétences agricoles par des procédés déjà existants.

Enfin, en sachant que le changement climatique participe à augmenter la variabilité de la mousson qui se traduit par une fréquence et une intensité plus importantes des événements climatiques extrêmes, il est supposé que le changement climatique soit observable dans les JH. Cependant, l'étude sur l'évolution des précipitations dans le bloc manque de visibilité sur une longue durée que ce soit par le manque de données quantitatives que de données qualitatives. Lors des entretiens, les manifestations climatiques observées par les agriculteurs ont été décrites mais pas datées ce qui constitue une limite à la caractérisation du changement climatique, d'autant que les agriculteurs des JH ont a priori toujours connu des variabilités climatiques. Alors comment savoir s'il y a eu une aggravation de ces perturbations ces dernières années ? Cela pose une réelle question de seuil, à partir de quand passe-t-on de la variabilité climatique au changement climatique ? En fonction de quels indicateurs le changement climatique peut-il être qualifié ? Est-ce à partir de l'intensité des manifestations ou en fonction de la gravité des conséquences subies par les agriculteurs ? Changement climatique et / ou variabilités climatiques, peut-on toujours parler d'anticipation alors que le devenir climatique et agricole des JH est incertain auprès des agriculteurs ?

## Bibliographie

### Sitographie :

- Atlas du Monde, 2016, Carte et Information : Inde [en ligne]. Disponible sur : <https://www.atlas-monde.net/asia/inde/> Consulté le 27/03/2023.
- Atlasocio, 2022, Classement des États du monde par superficie [en ligne]. Disponible sur : <https://atlasocio.com/classements/geographie/superficie/classement-etats-par-superficie-monde.php> Consulté le 27/06/2023.
- Bureau of meteorology Australia, 2016, *Understanding the Ocean Indian Dipole* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=J6hOVatamYs> Consulté le 19/06/2023.
- BYJU'S, *Difference between Gram Sabha and Gram Panchayat* [en ligne]. Disponible sur : <https://byjus.com/free-ias-prep/difference-between-gram-sabha-and-gram-panchayat/> Consulté le 28/03/2023.
- Census of India 2011, Office of the Registrar General & Census commissioner, India Ministry of Home Affairs, Government of India [en ligne]. Disponible sur : <https://censusindia.gov.in/census.website/>
- Departement of Horticulture and plantation crop, Tiruvannāmalai District [en ligne]. Disponible sur : <https://Tiruvannāmalai.nic.in/horticulture/> Consulté le 14/08/2023.
- DHAN Foundation, 2021, Annual Report 2021 [en ligne]. Disponible sur : <https://www.dhan.org/document/annual-report/annual-report-2021.pdf>
- DHAN Foundation, DHAN's Reach [en ligne]. Disponible sur : <https://dhan.org/dhans-reach.php> Consulté le 20/04/2023.
- DHAN Foundation, Kalanjiam Community Banking Programme [en ligne]. Disponible sur : <https://dhan.org/themes/kalanjiam.php> Consulté le 20/04/2023.
- DHAN Foundation, Overview [en ligne]. Disponible sur : <https://www.dhan.org/about-us.php#:~:text=Promoting%20Poverty%20Free%2C%20Value%20Based,Ecologically%20Sensitive%20and%20Just%20Society>. Consulté le 30/06/2023.
- DHAN Foundation, Small Millet Foundation, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.dhan.org/themes/smallmilletfoundation.php>

- DHAN Foundation, Sustainable Healthcare Advancement (SUHAM) [en ligne]. Disponible sur : <https://dhan.org/people-institutions/suham.php> Consulté le 20/04/2023.
- Edelo, Géographie de l'Inde [en ligne]. Disponible sur : <https://www.edelo.net/inde/presentation/geographie> Consulté le 02/05/2023.
- Encyclopaedia Britannica, 2023, Ghâts [en ligne]. Disponible sur : <https://www.britannica.com/place/Ponnani-River> Consulté le 28/06/2023.
- EuroNews, 2023, No comment : Inondations et glissements de terrain mortels en Inde. Disponible sur : <https://fr.euronews.com/video/2023/08/17/no-comment-inondations-et-glissements-de-terrain-mortels-en-inde> Consulté le 25/08/2023.
- FAO, 2003, Forest policy reforms in India – Evolution of the joint forest management approach [en ligne]. Disponible sur : <https://www.fao.org/3/XII/0729-C1.htm> Consulté le 3/07/2023.
- FAO, 2023, International year of millets [en ligne]. Disponible sur : <https://www.fao.org/millets-2023/fr> Consulté le 05/09/2023.
- FAO, Qu'est-ce qu'un sol ? [en ligne]. Disponible sur : <https://www.fao.org/soils-portal/about/definitions/fr/> Consulté le 03/07/2023.
- Food and Agriculture Organisation, *Voices of the Hungry* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.fao.org/in-action/voices-of-the-hungry/fies/fr/> Consulté le 19/06/2023.
- GéoConfluences, 2023, L'Inde État le plus peuplé du monde devant la Chine [en ligne]. Disponible sur : <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/actualites/veille/breves/inde-pays-le-plus-peuple> Consulté le 27/03/2023.
- GéoConfluences, 2006, Développement économique [en ligne]. Disponible sur : <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/developpement-economique> Consulté le 05/05/2023
- GéoConfluences, 2015, Villes indiennes [en ligne]. Disponible sur : <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/villes-indiennes> Consulté le 01/05/2023
- Government of Canada, 2013, Classe de pente de relief [en ligne]. Disponible sur : [https://sis.agr.gc.ca/siscan/nsdb/slc/v3.2/ldt/lf\\_slope.html](https://sis.agr.gc.ca/siscan/nsdb/slc/v3.2/ldt/lf_slope.html) Consulté le 05/07/2023.

- Government of Tamil Nadu, Chennai District, *District Profile* [en ligne]. Disponible sur : <https://chennai.nic.in/about-district/district-profile/> Consulté el 05/05/2023.
- Government of Tamil Nadu, Vellore District, *About District* [en ligne]. Disponible sur : <https://vellore.nic.in/about-district/> Consulté le 05/05/2023.
- India Filings, *IAY Scheme* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.indiafilings.com/learn/indira-awaas-yojana-iay/> Consulté le 30/03/2023.
- Indian Water Resources Information System (WRIS), Government of India, *Rainfall* [en ligne]. Disponible sur : <https://indiawris.gov.in/wris/#/rainfall> Consulté le 15/05/2023.
- INRAE, 2022, Qu'est-ce qu'un sol ? [en ligne]. Disponible sur : <https://cartographie.hub.inrae.fr/les-bases-de-la-csms/qu-est-ce-qu-un-sol> Consulté le 03/07/2023.
- Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire, 2019, *Inde* [en ligne]. Disponible sur : <https://agriculture.gouv.fr/inde> Consulté le 19/06/2023.
- Ministère de la statistique et de la mise en œuvre des programmes, 2022 , Population : Tamil Nadu [en ligne]. Disponible sur : <https://www.ceicdata.com/en/india/population/population-tamil-nadu> Consulté le 27/03/2023.
- Ministry of Agriculture & Farmers Welfare, 2022, Survey on Soil Erosion [en ligne]. Disponible sur : [https://pib.gov.in/PressReleaseframePage.aspx?PRID=1810912#:~:text=As%20per%20NAAS%20\(2010\)%2C,ICAR%20using%20the%20harmonized%20database.](https://pib.gov.in/PressReleaseframePage.aspx?PRID=1810912#:~:text=As%20per%20NAAS%20(2010)%2C,ICAR%20using%20the%20harmonized%20database.) Consulté le 03/07/2023.
- Ministry of Environment, Forest and Climate Change of India, 2010, Aim and objectives under Forest Policy, 1988 [en ligne]. Disponible sur : <https://pib.gov.in/newsite/erecontent.aspx?relid=57051> Consulté le 23/07/2023.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2009. *Climate Variability: Oceanic Niño Index* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-ni%C3%B1o-index> Consulté le 16/05/2023.

- NOAA World Climate Service, 2021, *What is the Indian Ocean Dipole* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.worldclimateservice.com/2021/09/02/indian-ocean-dipole/> Consulté le 20/06/2023.
- NOAA, 2017, *Climate Watch Magazine article on the change to the ONI* [en ligne]. Disponible sur : [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_change.shtml](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml) Consulté le 16/05/2023.
- NOAA, 2017, *Description of changes to Ocean Niño Index* [en ligne]. Disponible sur : [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_change.shtml](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml) Consulté le 09/05/2023.
- NOAA, 2020, *How Will Climate Change Change El Niño And La Niña ?* [en ligne]. Disponible sur : <https://research.noaa.gov/2020/11/09/new-research-volume-explores-future-of-enso-under-influence-of-climate-change/> Consulté le 08/05/2023.
- NOAA, 2023, *ENSO Diagnostic discussion* [en ligne]. Disponible sur : [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/ensodisc.shtml](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc.shtml) Consulté le 21/06/2023.
- NOAA, 2023. *Cold & Warm Episodes by Season* [en ligne]. Disponible sur : [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php) Consulté le 16/05/2023.
- NOVELCALSS, 2021, *La photosynthèse* [vidéo]. Disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=-JfMV5jmvjY> Consulté le 02/08/2023.
- Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 2006. *Food Security - Policy Brief* [pdf], 4 p. Disponible sur : [https://www.fao.org/fileadmin/templates/faoitally/documents/pdf/pdf\\_Food\\_Security\\_Concept\\_Note.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/faoitally/documents/pdf/pdf_Food_Security_Concept_Note.pdf)
- Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 2002. *La production et la sécurité alimentaire* [en ligne]. Disponible sur : [https://www.fao.org/3/Y3918F/y3918f04.htm#P0\\_0](https://www.fao.org/3/Y3918F/y3918f04.htm#P0_0) Consulté le 05/05/2023.
- Sahida, 2018, *Explain the system of Panchayat Raj* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.sarthaks.com/222814/explain-the-organization-of-panchayati-raj-system> Consulté le 28/03/2023.

- SENGUPTA A., 2020, *Indian Ocean Dipole IOD - What, Why, How it occurs, its affect on Indian Monsoon* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=ONZ8KCECZmY> Consulté le 19/06/2023.
- Tiruvannāmalai District, Département de l'horticulture et des cultures de plantes [en ligne]. Disponible sur : <https://Tiruvannāmalai.nic.in/horticulture/> Consulté le 27/03/2023.
- Tiruvannāmalai District, Gouvernement du Tamil Nadu, Agence départementale du développement rural [en ligne]. Disponible sur : <https://Tiruvannāmalai.nic.in/drda/> Consulté le 27/03/2023.
- Tiruvannāmalai District, Gouvernement du Tamil Nadu, Les collines du Jawadhu [en ligne]. Disponible sur : <https://Tiruvannāmalai.nic.in/tourist-place/jawadhu-hills/> Consulté le 27/03/2023.
- Tiruvannāmalai District, *Places of interest* [en ligne]. Disponible sur : <https://Tiruvannāmalai.nic.in/places-of-interest/> Consulté le 31/03/2023.
- Toppr, Class 10, *Panchayati Raj system in India* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.toppr.com/ask/content/video/panchayati-raj-system-in-india-english-131468/> Consulté le 28/03/2023.
- UNESCO, Ghâts occidentaux [en ligne]. Disponible sur : <https://whc.unesco.org/fr/list/1342/>
- UPSC, Carte Inde 2022 [en ligne]. Disponible sur : <https://upsccolorfullnotes.com/india-geographical-map/> Consulté le 27/03/2023.
- Welt Hunger Hilfe, *Global Hunger Index - Inde* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.globalhungerindex.org/india.html> Consulté le 02/05/2023.
- Wikipedia, 2011, Education in Tamil Nadu [en ligne]. Disponible sur : [https://en.wikipedia.org/wiki/Education\\_in\\_Tamil\\_Nadu](https://en.wikipedia.org/wiki/Education_in_Tamil_Nadu) Consulté le 11/09/2023
- Wikipédia, Politique en Inde [en ligne]. Disponible sur : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Politique\\_en\\_Inde](https://fr.wikipedia.org/wiki/Politique_en_Inde). Consulté le : 24/07/2023.

## Ouvrage, article et rapport :

- Agence Française de Presse, 2023, Le cyclone Biparjoy a touché terre en Inde, accompagné de rafales de vent jusqu'à 140 km/h, *Le Monde*. Disponible sur : [https://www.lemonde.fr/international/article/2023/06/15/le-cyclone-biparjoy-s-approche-a-grands-pas-de-l-inde-et-du-pakistan\\_6177734\\_3210.html](https://www.lemonde.fr/international/article/2023/06/15/le-cyclone-biparjoy-s-approche-a-grands-pas-de-l-inde-et-du-pakistan_6177734_3210.html)
- ASHOK K., GUAN Z., YAMAGATA T., 2001, Impact of Indian Dipole on Indian monsoon and ENSO, *Geophysical Research Letters* [en ligne], 23, 5p. Disponible sur : [https://www.researchgate.net/publication/228802323\\_Impact\\_of\\_Indian\\_Ocean\\_dipole\\_on\\_the\\_relationship\\_between\\_the\\_Indian\\_Monsoon\\_Rainfall\\_and\\_ENSO](https://www.researchgate.net/publication/228802323_Impact_of_Indian_Ocean_dipole_on_the_relationship_between_the_Indian_Monsoon_Rainfall_and_ENSO)  
Consulté le 19/06/2023.
- AUBAILE-SALLENAVE F., 2014, La mousson, pluie des agriculteurs et vent des marins, *Revue d'ethnoécologie* [en ligne], 5. Disponible sur : <http://journals.openedition.org/ethnoecologie/1834> Consulté le 05/05/2023.
- BACQUE M.-H., BIEWENER C., 2013, *L'empowerment*, un nouveau vocabulaire pour parler de participation ? , Idées économiques et sociales [en ligne], 173, pp.25-32. Disponible sur : <https://www.cairn.info/revue-idees-economiques-et-sociales-2013-3-page-25.html#:~:text=Dans%20ses%20versions%20radicales%20et,et%20une%20action%20sociale%20transformative>. Consulté le 30/06/2023.
- BALBOT J.-C., DALMAIS M., VANHERZEELE Y., 2020, La démocratie dans l'alimentation, seule réponse possible aux enjeux agricoles et alimentaires, *Raison présente*, 214-215, p.163-172.
- BETT B., KIUNGA B., GACHOCHI J., SINDATO C., MBOTHA D., ROBINSON T., LINDHAL J., GRACE D., 2017, Effects of climate change on the occurrence and distribution of livestock diseases, *Preventive Veterinary Medicine* [en ligne], 137, pp.119–129. Disponible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167587716306316>  
Consulté le 10/08/2023.
- BURGAUDEAU C., 2018, Pratiques et stratégies agricoles au Jawadhu Hills, Mémoire Master Géographie [pdf], Université Paris 12, 74p.

- BURGAUDEAU C., 2018, Pratiques et stratégies agricoles aux Javadhi Hills, Tamil Nadu, Université Paris 12, 74p.
- CARRIÈRE P., DUPUIS J., 2023, « Himalaya », *Encyclopædia Universalis France* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/himalaya/> Consulté le 17/09/2023
- CHAKRABORTY A., JOSHI PK., GHOSH A., AREENDRAN G., 2013, Assessing biome boundary shifts under climate change scenarios in India, *Ecological Indicators* [en ligne], 34, pp. 536-547. Disponible sur : [https://www.researchgate.net/publication/255179344\\_Assessing\\_biome\\_boundary\\_shifts\\_under\\_climate\\_change\\_scenarios\\_in\\_India](https://www.researchgate.net/publication/255179344_Assessing_biome_boundary_shifts_under_climate_change_scenarios_in_India) Consulté le 27/06/2023.
- Chambre de l'Agriculture d'Occitanie, 2017, Fiche n°9 : Travail du sol et verre de terre, 2p.
- CHEN H., POKHAREL S., 2023, Les eaux de crue atteignent l'emblématique Taj Mahal alors que le nord de l'Inde se remet d'un déluge massif, *CNN*. Disponible sur : <https://edition.cnn.com/2023/07/18/asia/india-climate-change-taj-mahal-flood-intl-hnk/index.html> Consulté le 25/08/2023.
- CHO R., 2022, How Climate Change Will Affect Plants, *State of the Planet* [en ligne]. Disponible sur : <https://news.climate.columbia.edu/2022/01/27/how-climate-change-will-affect-plants/> Consulté le 28/04/2023.
- COHEN.P et JANAKARAJAN S., 2003, *Socio-Economic and Technological History of Irrigation in Tamil Nadu, Water management in rural south India and Sri Lanka*, Institut Français de Pondichéry [en ligne], Collection Sciences Sociales, p.25-41. Disponible sur : <https://books.openedition.org/ifp/10050?lang=fr> Consulté le 29/03/2023.
- DEEPA P., Dr. RAHAMEDSHA B., Economic condition of Jawadhu Hills tribals a historical perspective, *Ymer* [en ligne], , vol. 22, février 2023, pp. 1035-1039. Disponible sur : <https://ymerdigital.com/uploads/YMER220299.pdf>. Consulté le 18/07/2023.
- Department of Agriculture and Cooperation, Ministry of Agriculture, Government of India, 2009. *Manual for drought management* [pdf], New Delhi, 202p. Disponible sur : <https://agricoop.nic.in/sites/default/files/DroughtManual.pdf>
- Department of economics and statistics, 2016-17, Government of Tamil Nadu, Block statistical handbook Jawadhu Hills [pdf], 30p.

- Department of Planning and Investment - Vietnam, 2007, Participatory Rural Appraisal Manual, 31p.
- DHAN Foundation, Rapid Assessment on Disaster and Response Report [en ligne]. Disponible sur : <https://dhan.org/covid19/jawadhu.pdf>.
- DHAN Foundation, Rapid Assessment on Disaster and Response Report [pdf], 1p.
- DI LIBERTO T., 2014, ENSO and the Indian Monsoon... not as straightforward as you'd think, *Climat.gov* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/enso-and-indian-monsoon%E2%80%A6-not-straightforward-you%E2%80%99d-think> Consulté le 21/06/2023.
- District Rural Development Agency, Tiruvannāmalai , 2021, Water Security and Climate Adaptation in Rural India - Tamil Nadu WASCA Project [pdf], 176p.
- DURAND-DASTÈS F., 2015, Les hautes densités démographiques de l'Inde, *Géoconfluences* [en ligne]. Disponible sur : <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-regionaux/le-monde-indien-populations-et-espaces/articles-scientifiques/les-hautes-densites-demographiques-de-linde> Consulté le 02/05/2023.
- DURAND-DASTÈS.F., 1983, Famines et sous-alimentation en Inde, Tricontinental : Famines et pénuries, *La Découverte* [en ligne], pp.11-25. Disponible sur : <https://hal.science/hal-02449504/document>
- DURAND-DURES in CADENE et DUMORTIER, 2015, *L'Inde : une géographie*, Armand Colin, Collection Horizons, 416p.
- EL HASSANI A E., 2021, *Croissance et développement des plantes cultivées*, in Bases physiologiques de l'élaboration du rendement [en ligne], pp.120-310. Disponible sur : <https://www.studocu.com/fr/document/sorbonne-universite/biologie-vegetale/000287-partie-3-notes/18112528> Consulté le 02/08/2023.
- FAUQUEMBERGUE A., VERBEKE L., 2017, *Le mot "mousson" : du phénomène saisonnier à Vasco de Gama* [en ligne], France Culture. Disponible sur : <https://www.radiofrance.fr/franceculture/le-mot-mousson-du-phenomene-saisonnier-a-vasco-de-gama-1932755> Consulté le 19/06/2023.

- GADGIL S., 2003, The Indian monsoon and its variability, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* [pdf], 31, pp.429-67.
- GANDHI M., 1939, *Harijan*, p145.
- GARRIC A., 2023, El Niño et La Niña, les « enfants terribles » du climat, *Le Monde* [pdf], 27p.
- GIEC, 2020, *Changement climatique et terres émergées* [pdf], 39p.
- GIEC, 2023, Synthesis report of the IPCC sixth assessment report, 36p.
- GODARD A., TABEAUD M., 2009, Les climats : mécanismes, variabilité et répartition, 4<sup>e</sup> édition, Armand Colin, 202p.
- GUÉTAT-BERNARD H., SAUSSEY M., 2014, *Genre et savoirs : Pratiques et innovations rurales au Sud*, À travers champs, IRD Éditions, 291p. Disponible sur : <https://books.openedition.org/irdeditions/9125?lang=fr> Consulté le 04/05/2023.
- HA THIEN TRU J., 2020, Dynamiques des agricultures alternatives en Inde, trajectoires des organisations locales : l'émergence de nouveaux modèles de développement alternatifs, 113p.  
India, *International Journal of Creative Research Thoughts*, 5, pp.1 321-1 330.
- Indian Meteorological Department, *Frequently asked Questions on Monsoon* [pdf]. Disponible sur : [https://mausam.imd.gov.in/imd\\_latest/monsoonfaq.pdf](https://mausam.imd.gov.in/imd_latest/monsoonfaq.pdf)
- IPCC, 2015, *Fiche d'information sur la chronologie du GIEC* [pdf], 2p.
- IPCC, 2019, Chapter 5 : Food Security in Climate Change and Land. Disponible sur : <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-5/> Consulté le 28/04/2023.
- IPCC, coord. SHAW R., YONG L., CHEONG TS., 2022, Chapter 10 : Asia in Climate Change 2022 : Impact, Adaptivity, Vulnerability, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, États-Unis, pp. 1457–1579. Disponible sur : <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-10/> Consulté le 04/05/2023.
- IPCC, PLANTON S. (coord.), 2013, Glossaire, in *Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [pdf], 20p.
- JANA N.C., 2015, Hazard of soil erosion in India : a growing concern, *International Journal in current research*, 7, pp. 18 698-18 706.

- KATZENBERGER A., SCHEWE J., PONGRATZ J., LEVERMANN A., 2021, Robust increase of Indian monsoon rainfall and its variability under future warming in CMIP6 models, *Earth System Dynamique*, 12, pp.367-386. Disponible sur : <https://esd.copernicus.org/articles/12/367/2021/> Consulté le 18/06/2023.
- KOKILAVANI S., RAMANATHAN SP., GANESAN D., ARUNKUMAR P., SATHYAMOOTHY NK., BANGARU A., RAMESH T., SATHYABAMA A., JOSEPH M., BALASUBRAMANIAN P., 2021, Decadal Study of Changing Frequency and Intensity of Rainfall for Selected Locations of Tamil Nadu, *Current World Environment* [en ligne], 3, vol. 16, p.898-907. Disponible sur : <https://www.researchgate.net/publication/357847458> Decadal Study of Changing Frequency and Intensity of Rainfall for Selected Locations of Tamil Nadu Consulté le 30/05/2023.
- KRISHNAN R., SANJAY J., GNANASEELAN J., MUJUMDAR M., KULKARNI A., CHAKRABORTHY S., 2020, Ministry of Earth Science, *Government of India, Assessment of climate change over the region of India*, Pune, 242p. Disponible sur : <https://www.researchgate.net/publication/342143482> Assessment of Climate Change over the Indian Region A Report of the Ministry of Earth Sciences MoES Government of India A Report of the Ministry of Earth Sciences MoES Government of India Consulté le 28/06/2023.
- KUMAR KRISHNA K. *et alii*, 1999, On the Weakening Relationship Between the Indian Monsoon and ENSO, *Science*, 284, pp.2156 -2159.
- KUMAR KRISHNA K., *et alii*, 2006, Unraveling the Mystery of Indian Monsoon Failure During El Niño, *Science*, 314, pp.115-119.
- Laboratoire agro-climatique de l'Université de Coimbatore, Tamil Nadu, 2008, Climate change and its impacts with reference to agriculture in Tamil Nadu [pdf], 23p.
- LANDY F. et VARREL L., 2015, *Du Développement à l'émergence*, Armand Colin, Collection U, 288p.
- LANDY F., 2022, *En Inde, nul besoin des changements globaux pour expliquer la pauvreté agricole*, in E. Libourel, A. Gonin éd., *Agriculture et changements globaux*, Atlande, pp.145-169.

- LANDY F., MANIER B., ASTRUC L., 10 novembre 2022, *Épisode 4/4 : Mener la contre-révolution verte*, France Culture (radio). Disponible sur : <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/cultures-monde/inde-mener-la-contre-revolution-verte-4388720> Consulté le 24/04/2023
- LANG, T. ,1999. The complexities of globalization: The UK as a case study of tensions within the food system and the challenge to food policy. *Agric. Human Values*,16, p.169-185.
- LAVILLE J-L., 2010, Associationnisme : le bien commun aux confins du marché et de l'État , *Finance & Bien Commun*, 37-38, p.64-73. Disponible sur : <https://www.cairn.info/revue-finance-et-bien-commun-2010-2-page-64.htm> Consulté le 26/05/2023.
- Le Monde, 2023, En Inde, au moins 65 morts à la suite de fortes pluies, *Le Monde* [pdf], 3p.
- Le Point, 2023, Juillet 2023 a été le mois le plus chaud jamais enregistré sur terre. Disponible sur : [https://www.lepoint.fr/environnement/juillet-2023-a-ete-le-mois-le-plus-chaud-jamais-enregistre-sur-terre-08-08-2023-2530906\\_1927.php](https://www.lepoint.fr/environnement/juillet-2023-a-ete-le-mois-le-plus-chaud-jamais-enregistre-sur-terre-08-08-2023-2530906_1927.php) Consulté le 25/09/2023.
- LEFEBVRE B., 2015, Les minorités tribales dans les territoires de l'Union indienne, *Géoconfluences* [en ligne]. Disponible sur : <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-regionaux/le-monde-indien-populations-et-espaces/corpus-documentaire/les-minorites-tribales-dans-le-territoire-indien> Consulté le 04/04/2023
- LINDSEY R., et DI LIBERTO T., 2009, Variabilité climatique : indice océanique Niño, *Climat.gov* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-ni%C3%B1o-index> Consulté le 08/05/2023.
- LOISEAU F., 2023, Les records de températures s'accumulent, sur terre comme en mer, *Reporterre*. Disponible sur : <https://reporterre.net/Les-records-de-temperatures-s-accumulent-sur-terre-comme-en-mer> Consulté le 25/08/2023.

- LYSON T., 2004, *Civic agriculture: reconnecting farm, family and community*, New York : University Press of New England, 160p.
- MARESCOT C., 2019, Transformation par et pour des populations vulnérables de fruits et légumes issus de l'agriculture urbaine et locale, étude portée par la Chaire Agricultures Urbaines, services écosystémiques et alimentation des villes.
- MARIAPPAN N., ETHIRAJAN V., 2010, Net Primary Productivity Estimation of Eastern Ghats using Multispectral MODIS Data, *International journal of geomatics and géosciences*, 1, pp. 406-413. Disponible sur : [https://www.researchgate.net/publication/236217178\\_Net\\_Primary\\_Productivity\\_Estimation\\_of\\_Eastern\\_Ghats\\_using\\_Multispectral\\_MODIS\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/236217178_Net_Primary_Productivity_Estimation_of_Eastern_Ghats_using_Multispectral_MODIS_Data)
- MARIUS-GNANOU K., 1992, Révolution verte et maîtrise alimentaire : le cas de la région de Pondichéry (Inde méridionale). *Cahier Sciences Humaines [pdf]*, 28 (2), p.235-259.
- MERLE J., 2006, L'interaction des océans tropicaux avec l'atmosphère [en ligne], p99-129, in MERLE J. *Océan et climat*, Marseille, IRD Editions, 222p. Disponible sur : <https://books.openedition.org/irdeditions/25562> Consulté le 16/05/2023.
- MÜNSTER D., 2018, "Performing alternative agriculture: critique and recuperation in Zero Budget Natural Farming, South India", *Journal of Political Ecology* [en ligne], n°25(1), 748-764. Disponible sur : [https://www.environmentandsociety.org/sites/default/files/2017\\_i1\\_dmuenster\\_0.pdf](https://www.environmentandsociety.org/sites/default/files/2017_i1_dmuenster_0.pdf)
- NAGAMANI K., MARIAPPAN N., MANOHARAM., Forest type mapping for Javadhu Hills Using Remote Sensing and GIS, *Academia* [en ligne]. Disponible sur : [https://www.academia.edu/5281240/Forest\\_type\\_mapping\\_for\\_Javadhu\\_Hills\\_Using\\_Remote\\_Sensing\\_and\\_GIS](https://www.academia.edu/5281240/Forest_type_mapping_for_Javadhu_Hills_Using_Remote_Sensing_and_GIS) Consulté le 5/07/2023.
- National Institute of Agricultural Extension Management (NIAEM), dir. SHRI SRINIVAS B., 2007, Post Graduate Diploma in Agricultural Extension Management (PGDAEM), éd. MANAGE, 100p.
- NDIAYE P., PATUREL D., 2017, La démocratie alimentaire locale : quels rôles pour les collectivités locales ? État du droit, état des droits, *Centre Michel de l'Hospital*, 856 p., hal-01604822.

- NETHAJI MARIAPPAN V. E., Net Primary Productivity Estimation of Eastern Ghats using Multispectral MODIS Data, ResearchGate, janvier 2010 [en ligne]. Disponible sur : [https://www.researchgate.net/publication/236217178\\_Net\\_Primary\\_Productivity\\_Estimation\\_of\\_Eastern\\_Ghats\\_using\\_Multispectral\\_MODIS\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/236217178_Net_Primary_Productivity_Estimation_of_Eastern_Ghats_using_Multispectral_MODIS_Data). Consulté le : 18/07/2023
- Organisation Météorologique Mondiale, 2012, Guide d'utilisation de l'indice des précipitations normalisé, 25p.
- Organisation Météorologique Mondiale, 2014, *Le phénomène El Niño / Oscillation Australe* [en ligne], 1145, 12p. Disponible sur : [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=7890#:~:text=Le%20ph%C3%A9nom%C3%A8ne%20El%20Ni%C3%B1o%2FOscillation%20australe%20est%20la%20fluctuation%20du,et%20n%C3%A9gatives%20de%20la%20temp%C3%A9rature](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7890#:~:text=Le%20ph%C3%A9nom%C3%A8ne%20El%20Ni%C3%B1o%2FOscillation%20australe%20est%20la%20fluctuation%20du,et%20n%C3%A9gatives%20de%20la%20temp%C3%A9rature) Consulté le 16/05/2023.
- PATUREL D., 2020, De l'aide alimentaire à l'aide humanitaire : récit d'un dérapage social, *Chaire UNESCO Alimentations du Monde* [en ligne] . Disponible sur : <https://www.chaireunesco-adm.com/De-l-aide-alimentaire-a-l-aide-humanitaire-recit-d-un-derapage-social-Dominique> Consulté le 25/05/2023.
- PATUREL D., RAMEL M., 2017, Éthique du *care* et démocratie alimentaire : les enjeux du droit à une alimentation durable, *Revue Française d'Éthique Appliquée*, 4, p.49-60.
- PATUREL D., MARAJO-PETITZON É., CHIFFOLEAU Y., 2015, La précarité alimentaire des agriculteurs, *Pour*, 2015/1, 225, p.77-81. Disponible sur : <https://www.cairnint.info/revue-pour-2015-1-page-77.htm> Consulté le 25/05/2023.
- PELLEGRINO M., 2020, Ce que l'adaptation au changement climatique veut dire, *Urbanisme*, 417, pp.28-30.
- PERRUCHE C., 2023, Climat : la pire vague de chaleur d'avril de l'histoire de l'Asie, *Les Echos*. Disponible sur : <https://www.lesechos.fr/monde/asia-pacifique/climat-la-pire-vague-de-chaleur-davril-de-lhistoire-de-lasie-1938742>
- PREMHUMAR A., 2018, Socio economic status of Malayali tribes in Jawadhu Hills, Vellore District, *Journal of Social Sciences And Management Research* [pdf], vol.2, p.110-123.

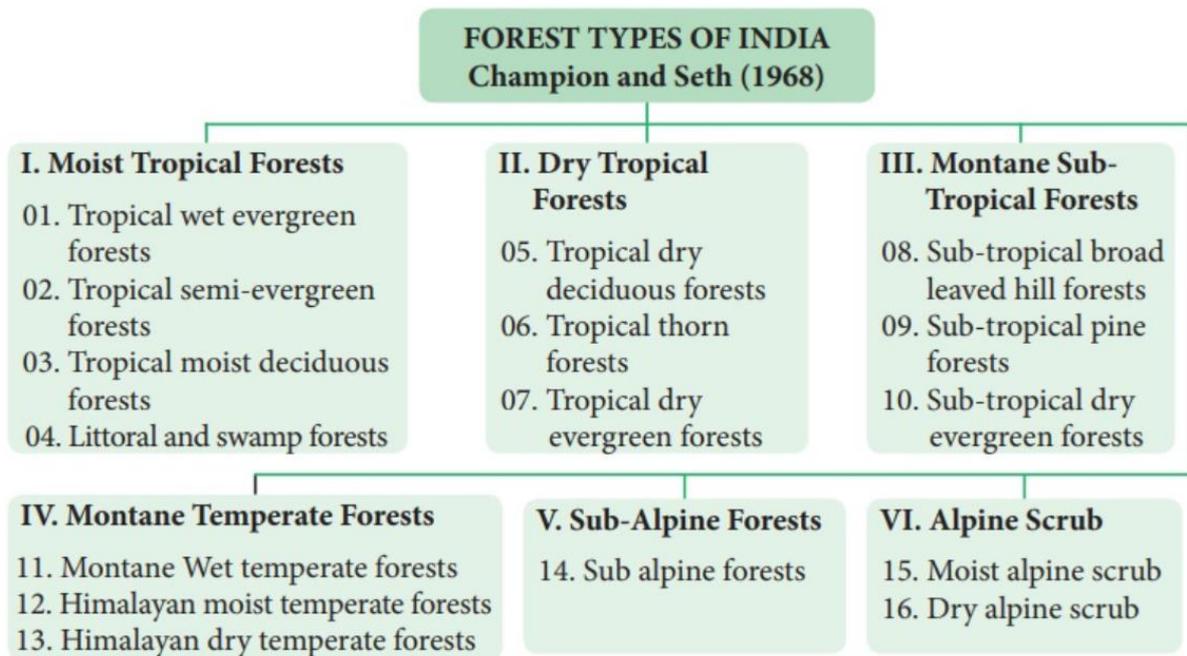
- RANJITH KUMAR A., 2021, Rural and Urban Inequality in Access to Education among Scheduled Castes in Tamil Nadu, *Arts and Social Sciences Journal*, 12, 2p. Disponible sur : <https://www.hilarispublisher.com/open-access/rural-and-urban-inequality-in-access-to-education-among-scheduled-castes-in-tamil-nadu-74188.html#:~:text=In%20Tamil%20Nadu%2C%20the%20total,the%20rural%20state%20as%20whole> . Consulté le 11/09/2023.
- REDLINGSHÖFER B., 2006, Vers une alimentation durable ? Ce qu'enseigne la littérature scientifique, *Courrier de l'Environnement de l'INRA*,
- RENTING H., SCHERMER M., ROSSI A., 2012, Building food democracy: exploring civic food networks and newly emerging forms of food citizenship, *International Journal of sociology of agriculture and food*, 19(3), p.289-307.
- RETIÈRE J.-N., LE CROM J.-P., 2018, Une solidarité en miettes. Sociohistoire de l'aide alimentaire des années 1930 à nos jours, *Annales de Bretagne et des Pays de l'Ouest* [en ligne], Rennes: Presses Universitaires de Rennes, Histoire, p.126-130. Disponible sur : <https://journals.openedition.org/abpo/4710> Consulté le 25/05/2023.
- RIGAL C., 2019, *La valorisation des paysages du Tamil Nadu en tant que patrimoine naturel et culturel : vers un développement durable des campagnes indiennes*, Université d'Orléans, 89p.
- RIGAL C., MARIE-CATHERINE B., 2023, *Actions de la DHAN Foundation sur les terrains d'étude de PATAMIL*, A.S.I.E, 10p.
- RZEGOCZAN M., 2023, *Le diffusion des millets dans les Jawadhu Hills (Tamil Nadu, Inde) : quelles perspectives de développement rural d'un territoire tribal ?*, Université d'Orléans, 227p
- SAROHA J., AMBEDKAR B.R., 2017, Soil Erosion: Causes, Extent and Management in
- SATHISHKUMAR.K et NATARAJAN.G, 2017, A Study on utilisation of forest resources in Jawadhu Hills of Tiruvannāmalai District, *International Journal of Research in Social Sciences* [pdf], vol.7, p.553-566.
- SORRE M., 1961, La notion de microclimat, *Bulletin de l'Association de Géographes Français* [en ligne], 301-302, pp. 162-169. Disponible sur :

[https://www.persee.fr/doc/bagf\\_0004-5322\\_1961\\_num\\_38\\_301\\_5563](https://www.persee.fr/doc/bagf_0004-5322_1961_num_38_301_5563) Consulté le 8/06/2023.

- SUMATHI S., MANJUBARKAVI S., 2015, Livelihood strategies and challenges of agricultural communities : an anthropological study of Malayali tribes in Tamil Nadu [pdf], *Emperor International Journal of Finance and Management Research* [pdf], n°45308, p.138-145.
- TABARLY S., 2007 "Les castes en Inde, un millefeuille social entre mythes et réalités", *Géoconfluences* [en ligne]. Disponible sur : <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/breves/2007/popup/IndeCastes.htm#citationMetadata>
- TAREVELLA R., BARBIER B., 2002, Les spécificités de la consommation alimentaire en Inde, *Pluriagri* [pdf], 71, 67p.
- THURSTON E., 1909, Caste and Tribes of South Indian, *Government Press, Madras*, 4.
- TNN., 2016, Jawadhu Hills to regain their sandalwood glory, *The Times of India* [en ligne]. Disponible sur : <https://timesofindia.indiatimes.com/city/puducherry/jawadhu-hills-to-regain-their-sandalwood-glory/articleshow/53939455.cms>  
Consulté le 01/04/2023.
- WATTS N., *et al.*, 2018, The Lancet Countdown on health and climate change : From 25 years of inaction to a global transformation for public health, *Lancet*, 391, pp.581–630, doi:10.1016/S0140-6736(17)32464-9.

## Annexe

### Annexe 1 :



**Annexe 2 : Événements El Niño et La Niña selon leur intensité sur des périodes de trois mois,**  
réalisée par N. Atek, source : NOAA, 2023

Année	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1951	-0.8	-0.5	-0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.0	0.8
1953	0.4	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
1957	-0.2	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.7
1958	1.8	1.7	1.3	0.9	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
1959	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0
1963	-0.4	-0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
1965	-0.6	-0.3	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.2	1.5	1.9	2.0	2.0	1.7
1966	1.4	1.2	1.0	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3
1968	-0.6	-0.7	-0.6	-0.4	0.0	0.3	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	1.0
1969	1.1	1.1	0.9	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8	0.9	0.8	0.6
1972	-0.7	-0.4	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.1
1973	1.8	1.2	0.5	-0.1	-0.5	-0.9	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7	-1.9	-2.0
1976	-1.6	-1.2	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.8
1977	0.7	0.6	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1982	0.0	0.1	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8	1.1	1.6	2.0	2.2	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1	0.7	0.3	-0.1	-0.5	-0.8	-1.0	-0.9
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.2	1.1	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6

<b>2010</b>	<b>1.5</b>	<b>1.2</b>	<b>0.8</b>	0.4	-0.2	<b>-0.7</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.6</b>	<b>-1.6</b>	<b>-1.6</b>	<b>-1.6</b>
<b>2014</b>	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>
<b>2015</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>	<b>1.2</b>	<b>1.5</b>	<b>1.9</b>	<b>2.2</b>	<b>2.4</b>	<b>2.6</b>	<b>2.6</b>
<b>2016</b>	<b>2.5</b>	<b>2.1</b>	<b>1.6</b>	<b>0.9</b>	0.4	-0.1	-0.4	<b>-0.5</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.6</b>
<b>2018</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.5</b>	-0.2	0.0	0.1	0.2	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>
<b>2019</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5

Année	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
<b>1950</b>	<b>-1.5</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.1</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.5</b>	-0,4	-0,4	-0,4	-0,6	-0,8
<b>1954</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	0.0	-0,4	<b>-0,5</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,7</b>
<b>1955</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,7</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,7</b>	<b>-1,5</b>
<b>1956</b>	<b>-1,1</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,5</b>	-0,4	-0,4	-0,4
<b>1964</b>	<b>1,1</b>	<b>0,6</b>	0,1	-0,3	<b>-0,6</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>
<b>1970</b>	<b>0,5</b>	0,3	0,3	0,2	0.0	-0,3	<b>-0,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,1</b>
<b>1971</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,1</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,9</b>
<b>1973</b>	<b>1,8</b>	<b>1,2</b>	<b>0,5</b>	-0,1	<b>-0,5</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,7</b>	<b>-1,9</b>	<b>-2,0</b>
<b>1974</b>	<b>-1,8</b>	<b>-1,6</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,5</b>	-0,4	-0,4	<b>-0,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,6</b>
<b>1975</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,6</b>	<b>-1,7</b>
<b>1976</b>	<b>-1,6</b>	<b>-1,2</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,5</b>	-0,3	0.0	0,2	0,4	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>
<b>1983</b>	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	<b>0,7</b>	0,3	-0,1	<b>-0,5</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,9</b>
<b>1984</b>	<b>-0,6</b>	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	<b>-0,6</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,1</b>
<b>1985</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,5</b>	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4
<b>1988</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	0,1	-0,3	<b>-0,9</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,8</b>	<b>-1,8</b>
<b>1989</b>	<b>-1,7</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,1</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,6</b>	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1
<b>1995</b>	<b>1,0</b>	<b>0,7</b>	<b>0,5</b>	0,3	0,1	0.0	-0,2	<b>-0,5</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,0</b>
<b>1996</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,6</b>	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5
<b>1998</b>	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>	<b>1,4</b>	<b>1,0</b>	<b>0,5</b>	-0,1	<b>-0,8</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,6</b>
<b>1999</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,7</b>
<b>2000</b>	<b>-1,7</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,1</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,7</b>
<b>2001</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,5</b>	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
<b>2006</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,6</b>	-0,4	-0,1	0.0	0,1	0,3	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>

<b>2007</b>	<b>0,7</b>	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	<b>-0,5</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,6</b>
<b>2008</b>	<b>-1,6</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,6</b>	-0,4	-0,2	-0,2	-0,4	<b>-0,6</b>	<b>-0,7</b>
<b>2009</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,6</b>	-0,3	0,0	0,3	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>1,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,6</b>
<b>2010</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>0,8</b>	0,4	-0,2	<b>-0,7</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,6</b>	<b>-1,6</b>	<b>-1,6</b>	<b>-1,6</b>
<b>2011</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,2</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,6</b>	-0,4	<b>-0,5</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,0</b>
<b>2012</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,5</b>	-0,3	0,0	0,2	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,2
<b>2016</b>	<b>2,5</b>	<b>2,1</b>	<b>1,6</b>	<b>0,9</b>	0,4	-0,1	-0,4	<b>-0,5</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,6</b>
<b>2017</b>	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	-0,1	-0,4	<b>-0,7</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,0</b>
<b>2018</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,5</b>	-0,2	0,0	0,1	0,2	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>
<b>2020</b>	0,5	0,5	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	<b>-0,6</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,2</b>
<b>2021</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,5</b>	-0,4	-0,4	<b>-0,5</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,0</b>
<b>2022</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,8</b>



**Annexe 4 :** Tableau des épisodes d'ENSO et des tendances de précipitations sur le district de Tiruvannāmalai, 1950-2022, réalisé par N. Atek, 2023, source : Indian-WRIS, 2022

Année	Total des précipitations	Épisodes El Niño et La Niña et leur intensité	Volume maximal des précipitations en 24h/an (mm)	Nombre de jours consécutif sans précipitations durant la mousson
1950	624,82	Niña Modérée	27,34	23
1951	877,25	Niño Modéré	51,49	14
1952	883,94	Neutre	39,67	19
1953	946,96	Niño Faible	61,09	13
1954	1100,8	Niña Faible	108,58	14
1955	1385,74	Niña Modérée	65,05	22
1956	1221,4	Niña Faible	37,18	6
1957	804,22	Niño Fort	30,7	14
1958	798,56	Niño Modéré	74,74	9
1959	842,24	Niño Faible	72,01	9
1960	1295,85	Neutre	61,51	14
1961	1072,27	Neutre	41,45	13
1962	1090,31	Neutre	29,73	20
1963	1288,14	Niño Modéré	57,9	9
1964	1066,42	Niña Faible	74,96	21
1965	1158,43	Niño Fort	107,44	12
1966	1532,68	Niño Fort	115,42	7
1967	1013,33	Neutre	77,75	29
1968	724,02	Niño Modéré	28,59	11
1969	1324,66	Niño Modéré	128,44	11
1970	1122,28	Niña Faible	69,49	25
1971	1160,17	Niña Modérée	71,23	13
1972	1294,35	Niño Fort	95,96	5
1973	969,03	Niño Faible/Niña Forte	40,82	7
1974	799,58	Niña Modérée	35,43	19
1975	1080,04	Niña Modérée	48,65	8
1976	1209,47	Niña Faible/Niño Faible	69,37	8
1977	1400,04	Niño Faible	67,01	21
1978	1176,29	Neutre	61,37	4
1979	1095,91	Niño Faible	73,04	11
1980	719,05	Neutre	37,09	11
1981	1018,61	Neutre	67,7	10
1982	679,17	Niño Très Fort	55,96	18

1983	1345,48	Niño Fort/Niña Faible	73,5	16
1984	1117,36	Niña Faible	72,73	18
1985	1324,89	Niña Faible	122,74	15
1986	862,53	Niño Faible	41,64	10
1987	1044,96	Niño Fort	51,29	14
1988	777,12	Niña Forte	33,52	15
1989	750,1	Niña Modérée	52,52	9
1990	939,42	Neutre	49,83	13
1991	1176,52	Niño Modéré	89,34	17
1992	815,79	Niño Fort	60,4	13
1993	937,6	Neutre	86,62	5
1994	1005,05	Niño Faible	101,05	21
1995	985,83	Niña Faible /Niño Faible	87,46	17
1996	1565,63	Niña Faible	91,02	11
1997	894,98	Niño Très Fort	44,58	6
1998	1280,2	Niño Modéré/ Niña Modérée	68,8	13
1999	907,9	Niña Modérée	57,33	12
2000	1094,5	Niña Modérée	49,59	21
2001	447,37	Neutre	35,66	14
2002	253,89	Niño Modéré	22,21	23
2003	465,19	Neutre	22,23	21
2004	924,85	Niño Faible	64,02	13
2005	1562,76	Neutre	58,8	7
2006	990,21	Niña Faible/Niño Faible	45,59	17
2007	1367,73	Niña Modérée	207,49	10
2008	1306,59	Niña Modérée	112,84	14
2009	1047,25	Niña Faible/Niño Modéré	75,54	10
2010	1354,44	Niño Faible /Niña Forte	79,95	7
2011	1146,32	Niña Modérée	60,89	17
2012	1233,42	Niña Faible	65,21	22
2013	838,55	Neutre	74,77	16
2014	827,74	Niño Faible	41,34	11
2015	1457,91	Niño Très Fort	98,5	18
2016	724,63	Niño Fort/Niña Faible	70,17	17
2017	655,35	Niña Faible	41,15	25
2018	644,13	Niña Faible/Niño Faible	45,77	13
2019	1131,27	Niño Faible	52,99	5
2020	1072,9	Niña Faible	102,2	9
2021	1670,32	Niña Modérée	117,4	15
2022	1170,08	Niña Modérée	63,1	9

**Annexe 5** : Paramètres des relevés de l'Observatoire astronomique de Vainu Bappu, source : VBO, 2023

---

VBO Weather Station data is collected for every 10 minutes and updated in a text file in a row for each day separately. Below are the parameters (separated by space) in each row.

1. Year
2. Day of the Year
3. Hour-min of the day (starting from 12:00 AM)
4. (Average) Air Temperature (in °C)
5. (Sample) Relative Humidity (in %)
6. (Average) Soil Temperature (in °C)
7. Average Air Pressure (in mbar)
8. Rainfall (in mm)
9. Minimum Wind Speed (in m/s)
10. Maximum Wind Speed (in m/s)
11. Average Wind Speed (in m/s)
12. (Sample) Wind Direction
13. Average Flux (KW/sq.meter)
14. Total Flux (MJ/sq.meter)
15. DC power supply (voltage)

**Annexe 6 : Échantillon de données brutes des précipitations journalières le 1 juin 2008 dans les Jawadhu Hills, source : VBO, 2022**

01June2008.txt - Bloc-notes

Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide								
2008	153	10	20.01	93.4	26.44	942	.9	0	.95	.172		
2008	153	20	20	93.6	26.34	942	.6	0	1.1	.398		
2008	153	30	19.94	93.7	26.25	942	.3	0	1.4	.548		
2008	153	40	19.85	93.9	26.17	942	.4	.5	1.475	1.009		
2008	153	50	19.82	94	26.11	941	.3	0	1.1	.514		
2008	153	100	19.76	94	26.06	941	.3	0	.575	.021		
2008	153	110	19.69	94	26.02	941	.6	0	0	0		
2008	153	120	19.65	94	25.98	940	.5	0	0	0		
2008	153	130	19.74	94.1	25.94	940	.4	0	1.25	.293		
2008	153	140	19.73	94	25.9	940	.6	0	1.1	.412		
2008	153	150	19.55	94.1	25.87	940	.6	0	1.4	.52		
2008	153	200	19.56	94.1	25.82	939	.5	.8	1.775	1.122		
2008	153	210	19.38	94	25.77	939	.4	.725	1.85	1.292		
2008	153	220	19.21	92.9	25.72	938	.2	1.25	2.6	1.914		
2008	153	230	19.16	93	25.68	938	.1	0	1.925	.789		
2008	153	240	19.32	90.6	25.64	938	.2	0	2.6	1.11		
2008	153	250	19.46	91.1	25.59	938	.1	.35	2.45	1.311		

Ln 145, Col 1    100%    Windows (CRLF)    UTF-8

**Annexe 7 :** Grille d'entretien de l'enquête auprès des agriculteurs des Jawadhu Hills, réalisée par N. Atek, 2023

### Thème 1 : Profil de l'enquêté

*Objectif : identifier le profil d'agriculture, déterminer la situation économique et la dépendance de l'agriculteur à la ressource en eau.*

(1 enquêté = 1 famille d'exploitant agricole)

- Panchâyat :
- Village :
- Coordonnées géographiques
- Nom du fermier et âge
- Nombre de membres dans la famille, combien travaillent dans l'exploitation ?
- Statut foncier : Êtes-vous propriétaire de votre terre ?
- Superficie de leur terrain ?
- Topographie de l'exploitation ?

*Maëva Rzegoczan procédera d'abord à son enquête afin que les données récoltées dans un premier temps servent de support à aux questions posées par Noémie Atek, notamment les données relatives aux types de culture, au type d'irrigation, aux matériels et techniques agricoles utilisés et au calendrier agricole.*

### Thème 2 : Perception des manifestations dues au changement climatique dans leur quotidien et impact sur leur activités agricoles

*Objectif : Identifier les perturbations d'ordre climatique et leurs impacts sur les activités agricoles. Il s'agira également d'identifier les impacts agricoles qui relèvent du changement climatique et celles qui relèvent des activités humaines localisées comme la déforestation, l'usage de pesticide ou de technique qui détériorent la fertilité du sol.*

- Au cours de votre vie qu'avez-vous observé comme changement climatique majeur dans votre environnement de travail ? Sécheresses, augmentation des températures...
- Toutes les observations que vous avez identifiées, quels ont été leurs impacts sur votre activité agricole ? Sur votre quotidien ? Baisse de rendement, destruction des

récoltes, inaccessibilité de vos terrains (routes détruites), érosion du sol, sécheresse/inondation, ravageurs, croissance des plantes plus longues/courtes (calendrier agricole perturbé), augmentation des prix du riz (ou autres céréales).

- Questions annexes en cas d'érosion du sol : la zone sensible a-t-elle subi des modifications ces dernières années (*facteurs potentiellement aggravants* : *déforestation, utilisation de produit chimique, labourage dans le sens de la pente, pâturage intensif...*)

### Thème 3 : Mesure d'adaptation de leurs pratiques agricoles

*Objectif : Identifier comment les agriculteurs se sont adaptés aux perturbations observées.*

*Quelles pratiques ont-ils changé ? Une attention particulière sera portée aux actions qui relèvent de leurs initiatives et les mesures d'atténuations et d'adaptation qui relèvent d'organismes extérieures telle que la Dhan Fondation.*

- Pour faire face à ces difficultés qu'avez-vous mis en œuvre ? *Aménagement (érosion du sol : stone-bund, terrassement, digue, labourage en courbe de niveau, le paillage), changement de culture (conversion au millet, adaptation du calendrier agricole dans la rotation des cultures, agroforesterie), changement de mode d'irrigation (construction d'un puit plus en profondeur, construction d'un poud), utilisation de produits chimique.*
- Question annexe si réhabilitation de terres tribales : Pourquoi ? Dans quelle logique ? Qu'est-ce que cela vous apporte (acquisition du terrain) ? Connaissez-vous d'autres personnes qui ont fait comme vous ?
- Des mesures d'adaptation ou d'atténuation ont-elles été mises en place sur votre terrain ou à proximité par un organisme extérieur pour répondre aux problématiques que vous connaissez ?
- Si oui, quels sont-elles et quand ont-elles été mises en place ?
- Les utilisez-vous ? Quel est votre avis sur leur efficacité ?

### Thème 4 : Menace et solutions

*Objectif : Dans une démarche prospective, qualifier les menaces qui pèsent sur les activités agricoles et les solutions qui à la fois pourraient répondre à des problématiques locales actuelles et à venir sur leurs activités.*

- Intéressons-nous à l'avenir de votre exploitation, selon vous quelles menaces pèsent sur votre activité, qu'est-ce qui pourrait arriver à votre activité dans les années à venir dans le pire des cas ?
- Comment imaginez-vous votre activité dans 10-20-30 ans ?
- Quelles solutions et aménagements vous manque-t-il pour pallier les problématiques rencontrées aujourd'hui et à venir selon les menaces identifiées ?

**Annexe 8 : Tableau de synthèse des résultats d'enquête menée dans les Jawadhu Hills auprès des agriculteurs, N. Atek, 2023.**

Profil											
Date	Accompagnateur	Identité anonyme	Panchayat	Village	Coordonnees_geo	Nb de membre_familie	Nb_membre_famille_travailant	statut_foncier	taille_foncier	topographie	DF_program
10/05/2023	A. Babu et K. Moorthy	A	Kannamalai	Melpulgankuppam	12.641952 79.019527	7	6	propriétaire	0.5 acre /0.2ha	environ 650m d'altitude ; bas de versant, terrasses	Small Millet
23/05/2023	J. GaneshKumar, K. Moorthy et S. Manjubarkavi	B	Kovilur	Kovilur	12.550072 78.918611	5	5	propriétaire	3 acres / 1,2ha	plateau	Sa femme fait partie d'un groupe de Small Millet ; et lui fait partie de l'association qui a la gestion de l'étang collectif

Activités agricoles				
Calendrier_agricole	Irrigation	Outils_agricoles	Fertilisant	auto_conso
mai-juillet : Millet majeur - <i>Kambu</i> ; août-novembre : Minor millets - <i>Samai, Ragi, Varathi</i> ; janvier-mars : <i>Paddy</i> décembre et avril : jachère	paddy : grâce à la rivière à proximité et un canal, pas de machine. Le reste agriculture pluviale pour le millet.	charrue en fer ; labour au tracteur pour la plus grande parcelle, pour les plus petites parcelles au-dessus labour traction de boeuf. Pour décortiquer le millet utilisation du bétail.	Fertilisants chimique si besoin (ex : pas assez de pluie, qualité du sol dégradée par l'érosion, maladie)	Kambu : consomme le matin mais pas de stock car trop petite exploitation.
juin - octobre : Millet majeur et Millet mineur ; octobre -décembre : horsegram ; octobre-mars : paddy ; décembre - janvier : jachère ; oct - mars : paddy ; février - avril : contract crop (cornichon) Produit aussi quelques fruits : noix de coco, <i>jack fruit</i> et goyave.	paddy : puit ouvert individuel, moteur à l'essence	charrue en bois et traction animale : buffle et chèvres.	Pas de fertilisant chimique sauf pour les <i>contract crop</i> . Utilise les excréments du bétail pour le millet.	Toute sa production est pour sa propre consommation sauf les <i>contract crop</i>

Vente	Activite_complementaire
Millet mineur et paddy	le mari migre au Kerala de janvier à mai pour travailler : café, poivre. Aussi au Karnataka.
Pas de vente hormis les <i>contract crop</i> car trop isolé et problème d'accès au marketing	<i>contract crop</i> lui permet de ne pas migrer + activité prête au temple

Perception du CC et adaptation de leurs pratiques agricoles					
2.1manif_climatique	2.2impact_agri	2.3hist_erosion	3.1adapt_pract	3.2DF/gov_action	4.1imagine_futur
Millet et Kambu : érosion du sol en cas de forte précipitation. Pluie souvent très forte d'octobre à novembre + problème de vent. Pas assez de pluie en mai-juillet pour le Major Millet	Glissement de terrain de parcelles cultivées, perte agricole. Perte de qualité du sol à cause de l'érosion. Impact la croissance des plantes. Perturbation du calendrier agricole.	Les parcelles sensibles à l'érosion ont été déforestées il y a 30- 40 ans lors d'une campagne de transformation des forêts en terres agricoles du Gouvernement. Aujourd'hui il est interdit de déforester, la gestion de la forêt est attribuée au Gouvernement.	Réduction des parcelles cultivées. Change de culture l'année suivante.	Non	Ne pas utiliser de fertilisant chimiques. Faire des <i>contract crop</i> (coton). Nivellement des terres.
Forte pluie en agriculture pluviale (millet)	Les fortes pluies durant la germination des graines entraînent une perte de la production, perte des graines, destruction de la culture.		Il couvre avec une bâche en plastique les cultures durant la nuit afin de les protéger et enlève la bâche la journée. Ou récolte du millet avant la pluie mais le problème c'est que peu prévisible.	Non	Imagine son terrain qu'avec une agriculture irriguée car cela lui permet une plus grande diversité dans la production, plus de revenus et une culture plus facile à gérer globalement

4.2menace	4.3suggestion	4.4DF_help
Les précipitations car une grande partie de sa culture en dépend. L'érosion du sol.	Installer des <i>stone-bunding</i> ; utiliser des fertilisant naturels ; nivellement de ses terres ; <i>contract crop</i> .	Accent sur le fait que le Gouvernement ne vient pas jusqu'ici, ne connaît pas la réalité du terrain. Pour la DF : aide à l'implantation de <i>stone-bunding</i> ; partager des connaissances et expériences à travers les groupes de travaux.
Forte pluie et sécheresse comme en 2015-2016	Pas de solution à part stocker suffisamment de graines. Anticipation prévision des fortes pluie et des sécheresses pour qu'ils puissent s'adapter.	Non

Profil											
Date	Accompagnateur	Identité anonyme	Panchayat	Village	Coordonnees_geo	Nb de membre_famille	Nb_membre_famille_travaillant	statut_foncier	taille_foncier	topographie	DF_program
02/06/2023	A. Babu	C	Veerappanur	Veerappanur	12.622912, 78.910726	8	Toutes les familles travaillent au champ	propriétaire	3,500 acres environ 1,416 ha	Plateau	Référent local de la DF
03/06/2023	A. Babu et K. Moorty	D	Melsilambadi	Padapanchamarathur	12.511146 78.832186	4	Toute la famille	propriétaire	10 acres/4 ha	plateau et petit versant	Groupe de fermier

Activités agricoles				
Calendrier_agricole	Irrigation	Outils_agricoles	Fertilisant	auto_conso
3 semis de paddy : juin- aout ; septembre - décembre et janvier -avril. mai - septembre : petit mil <i>samai</i> ; octobre - décembre : horsegram ; cornichon toute l'année ( <i>contract crop</i> ). En fonction des saisons et des parcelles : tomates, aubergines, mangue, banane.	Puits ouverts pour les cultures irriguées sinon dépend des moussons	charrue en fer ; traction de bœuf	Fumier ou feuilles si sur terrain forestier ; fertilisant chimique pour <i>contract crop</i>	30% de paddy et de <i>samai</i> pour l'auto-consommation
2 semis de paddy : juin- aout et octobre - janvier. Petit Mil - <i>Ragi</i> : mai- aout et octobre - décembre. cornichon toute l'année ( <i>contract crop</i> ). En fonction des saisons et des parcelles : tomate, aubergine, maïs, haricot, cacahuète, oignons, piment, mangue, banane.	Puits ouverts pompe électrique pour les cultures irriguées sinon dépend des moussons	Churre en bois et traction de bœuf	Fertilisant chimique quand besoin mais deux trois parcelles seulement avec des engrais naturels	Il est le seul dans sa famille à manger du millet ( <i>ragi, samai</i> )

Vente	Activite_complementaire
70% vente pour le <i>paddy</i> et le <i>samai</i> ; 3/4 des tomates vendus le reste autoconsommation	Pas de migration car terrain assez grand et culture durant les deux saisons
<i>paddy</i> auto-consomme et vente ; tout le reste il le vend	Pas de migration

Perception du CC et adaptation de leurs pratiques agricoles					
2.1manif_climatique	2.2impact_agri	2.3hist_erosion	3.1adapt_pract	3.2DF/gov_action	4.1imagine_futur
Forte pluie / cyclone (vent fort)	Perte de production, destruction des cultures, ex : les cocotiers detruisent la maison		Changement des cultures pour l'année suivante ; pas de mesure d'adaptation avant ou pendant les fortes pluies.	La DF propose des <i>workshop</i> et session de sensibilisation aux variabilités climatiques et sur les pratiques agricole à adopter.	Subvenir aux besoins de la famille, n'envisage pas d'acheter plus de terrain, continuer les travaux de leur maison.
Forte pluie / petite érosion du sol au niveau des manguiers	Perte de production, destruction des cultures ; perte pour la vente et l'autoconsommation ; glissement de terrain mais ça va. Problème de volatilité des prix de la nourriture augmente.	Au niveau des manguiers déforestation mais il y a 40-50 ans.	Pour les manguiers : stone-binding. Essayer des drainer le surplus d'eau ; il laboure.	Le Gouvernement a donné des terres à sa famille il y a plusieurs décennies.	Il souhaite augmenter ses terrains agricoles de 5 acres pour produire plus de paddy et <i>samai</i> et de 1 à 2 acres pour des manguiers.

4.2menace	4.3suggestion	4.4DF_help
Peur : augmentation du prix des graines et augmentation du prix des fertilisants. Plus peur des épisodes de fortes pluies.	Développer les assurances des production agricoles pour les protéger (Departement de l'agriculture et des tribus) ; soutien financier du Gouvernement + aide analyse qualité du sol et de l'eau	Continuer les sessions de sensibilisation aux variabilité climatiques ; continuer de proposer une <i>market place</i> , permet d'assurer aux fermiers de revendre leurs produits.
Peur des fortes pluies	Des conseils du Departement de l'agriculture pour protéger les cultures contre les pluies fortes. Analyses des sols	Continuer les sessions de sensibilisation aux variabilité climatiques ; continuer de proposer une <i>market place</i> , permet d'assurer aux fermiers de revendre leurs produits.

			Profil								
Date	Accompagnateur	Identité anonyme	Panchayat	Village	Coordonnees_geo	Nb de membre_famille	Nb_membre_famille_travaillant	statut_foncier	taille_foncier	topographie	DF_program
23/05/2023	K. Moorthy et S. Manjubarkavi	G.1: Groupe de 5 agricultrices	Palamarathur	Narthamarathur	12.548102, 78.863563		Toute la famille	propriétaire	minimum 3 acres /1,2 ha	versant en terrasse et plateau	Les maris font partis d'un groupe de fermiers de la DF
24/05/2023	K. Moorthy et S. Manjubarkavi	G.2: Groupe de 8 agricultrices	Veerapanur	Pudupattu	12.634457 78.896902		Toutes les familles travaillent au champ	propriétaire	entre 1 acre et 3 acres/ 0,4 et 1,2 ha	Plateau	Elles font parties d'un groupe de fermiers de la DF

Activités agricoles				
Calendrier_agricole	Irrigation	Outils_agricoles	Fertilisant	auto_conso
Millet mineur, Finger millet ; cash crop : coton et cornichon	Seulement deux d'entre elles ont un puit les autres ne font que de la culture pluviale.	charrue en bois	Fertilisant chimique pour les <i>contract crop</i>	10% du millet qu'elles produisent pour la consommation (1-2 fois par mois)
Juin - septembre : Millet mineur - <i>samai</i> ; octobre - décembre : horsegram ; janvier- juin : jachère ; 2 agricultrices ont des <i>contract crop</i> irriguées : coton et cornichon.	Puits ouverts pour les cultures irriguées sinon dépend des moussons	Tracteur, charrue en fer prêt de la DF	Fertilisant chimique pour les <i>contract crop</i>	100kg de millet pour l'auto-consommation

Vente	Activite_complementaire
90% du millet qu'elles produisent elles le vendent non décortiqué car trop difficile. Elles n'aiment pas l'usage de la machine car le millet est plus blanc quand le décortiquage est manuel gage de meilleur qualité selon elles ; vendent aussi les excès de banane.	pas de migration parce <i>contract crop</i> .
300 à 400kg pour la revente millet /année	Toutes les familles migrent exceptées celles qui ont des <i>contract crop</i> . En général soit c'est toute la famille qui migre soit les enfants sont confiés à une institut locale et les parents migrent. Elles profitent aussi des postes gouvernementaux de 100 jours.

Perception du CC et adaptation de leurs pratiques agricoles							
2.1manif_climatique	2.2impact_agri	3.1adapt_pract	3.2DF/gov_action	4.1imagine_futur	4.2menace	4.3suggestion	4.4DF_help
Forte pluie	Perte de production à cause des fortes pluies	Embauche une trentaine de travailleurs pour récolter le millet avant les fortes pluies. Stockage des semences d'une année à l'autre.	Ont reçu des plants de manguiers à planter pour leur propre consommation	N'arrive pas à imaginer le futur	Vivent au présent et s'adaptent au présent, ils n'arrivent pas à nommer les menaces.	Non	Non
Forte pluie et pluie irrégulière. Pas de pluie en temps voulu	Perte de production à cause des fortes pluies ; n'ont pas d'assurance à cause du gouvernement	Mettent des bâches pour protéger ; stockage de graines pour subvenir à leur besoin.	Ont reçu des plants de manguiers et de tomates à planter pour leur propre consommation + groupe de fermiers utile pour le partage de connaissances, expériences et prêt d'outils agricoles.	Vivent au présent donc du mal à imaginer, du moment que leur production leur suffis à se nourrir et à vendre.	Menaces : les fortes pluies et la sécheresse	Avoir un moyen de connaître la météo notamment les pluies pour adapter les pratiques agricoles. (prévision météo)	DF : Proposer des sessions de sensibilisation pour cultiver le <i>paddy</i> de manière efficace. Et plus globalement des actions qui pourraient améliorer leurs conditions de vie.

## Table des figures, photographies, tableaux et annexes

### Figures :

Figure 1 : États et Territoires de l'Union indienne, M. Rzegoczan, 2023, p10.

Figure 2 : Relief de l'Inde, source : Landy et Varrel, 2015, p11.

Figure 3 : Déplacement de la ZCIT en fonction des alizés à l'échelle globale, source : IESO France, p12.

Figure 4 : La mousson indienne, source : Merles, 2006, p13.

Figure 5 : Localisation des Jawadhu Hills dans le Tamil Nadu. M. Rzegoczan, 2023. Source : DivaGis et GADM, 2015, p14.

Figure 6 : Massif montagneux en Inde, source : Edelo, p16.

Figure 7 : Carte du relief des Jawadhu Hills, M. Rzegoczan, 2023. Source : SRTM, 2015, p17.

Figure 8 : Carte d'occupation du sol des Jawadhu Hills en 2015, N. Atek et M. Rzegoczan, 2023. Source : National Remote Sensing Centre, ISRO, Government of India, Hyderabad, India, 2015, p20.

Figure 9 : Carte du réseau hydrographique des Jawadhu Hills. N. Atek et J. Andrieu, 2023. Source : SRTM, 2022, p24.

Figure 10 : Gouvernance officielle et gouvernance tribale en Inde selon le découpage administratif à toutes les échelles, M. Rzegoczan, 2023. Source : Wikipédia et DHAN Foundation, 2023, p26.

Figure 11 : Carte des panchayats des Jawadhu Hills, M. Rzegoczan, 2023, source : TNGIS, 2023, p27.

Figure 12 : Organisation du système de Pachayati Raj en Inde, source : Sahida, 2018, p28.

Figure 13 : Densité de population en Inde, source : Landy et Varrel, 2015, p29.

Figure 14 : Les castes en Inde : le système des quatre "varna", M. Rzegoczan, 2023. Source : Tabarly, 2007, p31.

Figure 15 : Les populations tribales en Inde, source : Lefebvre, 2014, p33.

Figure 16 : Répartition de la population active selon le secteur d'activité dans les Jawadhu Hills, source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17, p45.

Figure 17 : Nombre de propriétés foncières par classe de superficie (ha) 2016-2017 dans les Jawadhu Hills. Source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17, p46.

Figure 18 : Types de cultures dans les Jawadhu Hills, source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17, p48.

Figure 19 : Superficies des céréales irriguées et non irriguées cultivées, source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17, p49.

Figure 20 : Zone d'action de la DHAN Foundation, source : DHAN Foundation, p54.

Figure 21 : Les programmes de la DHAN Foundation dans les panchayats des Jawadhu Hills, M. Rzegoczan, 2023. Source : *DHAN Foundation*, p60.

Figure 22 : Les Organisations de Fermiers Producteurs de la DHAN Foundation dans les Jawadhu Hills, source : DHAN Foundation, 2023, p61.

Figure 23 : Les partenaires du programme PATAMIL, source : Sajaloli, 2020, p65.

Figure 25 : Rétroplanning étude sur le changement climatique dans les Jawadhu Hills, N. Atek, 2023, p68.

Figure 26 : Biomes de l'Inde, source : Chakraborty et alii, 2013, p75.

Figure 27 : Évolution des températures moyennes, maximales et minimales de l'air en Inde entre 1986 et 2015, source : Krishnan et alii, 2020, p76.

Figure 28 : Évolution des précipitations (mm/jour) pendant les moussons de 1951 à 2015, source : IMD utilisé par Krishnan et alii, 2020, p77.

Figure 29 : Répartition de la mousson indienne, source : Landy et Varrel, 2015, p82.

Figure 30 : Mécanisme du Dipôle de l'Océan indien, source : NOAA, 2021, p83.

Figure 31 : Schéma fonctionnement de l'ENSO, source : Merles, 2006, p85.

Figure 32 : Corrélation entre anomalies pluviométriques de la mousson indienne et épisodes d'El Niño, source : Gadgil, 2003, p85.

Figure 33 : Parties du Pacifique tropical utilisées pour surveiller la température de l'eau de surface, source : Martin, NOAA, p87.

Figure 34 : Variation des épisodes ENSO entre 1950 et 2000, source : OMM cité par Merles, 2006, p88.

Figure 35 : Évolution de la température moyenne de la surface de l'eau sur des périodes de 30 ans, source : NOAA, 2017, p89.

Figure 36 : SPI 4 mois, district de Tiruvannāmalai 1950-2022, source : Indian-WRIS, 2023, p97.

Figure 37 : SPI 3 mois, district de Tiruvannāmalai 1950-2022, source : Indian-WRIS, 2023, p97.

Figure 38 : SPI 7 mois, district de Tiruvannāmalai 1950-2022, source : Indian-WRIS, 2023, p98.

Figure 39 : SPI 12 mois, district de Tiruvannāmalai, 1950-2022, source : Indian-WRIS, 2023, p99.

Figure 40 : Évolution des précipitations de mousson, district de Tiruvannāmalai 1950-2022, source : Indian-WRIS, 2023, p100.

Figure 41 : Évolution du nombre de jours sans précipitation par année, district de Tiruvannāmalai 1950-2019. Source : Indian-WRIS, 2023, p102.

Figure 42 : Cumul des précipitations par seuil d'intensité, district de Tiruvannāmalai 1950-2022, source : Indian-WRIS, 2023, p103.

Figure 43 : Répartition du nombre de jour avec des précipitations selon leur intensité, district de Tiruvannāmalai 1950-2019, source : Indian-WRIS, 2023, p104.

Figure 44 : Évolution des précipitations maximales en 24h selon leur intensité, district de Tiruvannāmalai 1950-2019, source : Indian-WRIS, 2023, p106.

Figure 45 : Évolution des précipitations annuelles, Jawadhu Hills et district de Tiruvannāmalai, 2009-2022, source : Indian-WRIS et VBO-Kavalur, 2023, p113.

Figure 46 : Évolution des précipitations durant les moussons, Jawadhu Hills et district de Tiruvannāmalai, 2009-2022, source : Indian-WRIS et VBO-Kavalur, 2023, p113.

Figure 47 : Répartition des précipitations annuelles par mois en 2009, Jawadhu Hills et district de Tiruvannāmalai, source : Indian-WRIS et VBO-Kavalur, 2023, p116.

Figure 48 : Répartition des précipitations annuelles par mois en 2016, Jawadhu Hills et district de Tiruvannāmalai, source : Indian-WRIS et VBO-Kavalur, 2023, p116.

Figure 49 : Répartition des précipitations annuelles par mois en 2021, Jawadhu Hills et district de Tiruvannāmalai, source : Indian-WRIS et VBO-Kavalur, 2023, p117.

Figure 50 : Carte de Jamunamarathur, point d'observation de microclimat, source : SRTM et TNGIS, 2023, p119.

Figure 51 : Schéma de l'arbre à problème/solution selon la grille d'entretien, N. Atek, Université d'Orléans, 2023, p130.

Figure 52 : Carte localisation des entretiens dans les Jawadhu Hills, N. Atek, Université d'Orléans, 2023. Source : Google Maps et TNGIS, 2023, p135.

Figure 53 : Changements climatiques majeurs observés par les agriculteurs sur leurs activités, N. Atek, 2023, source : Enquête auprès des agriculteurs des JH, 2023, p138.

Figure 54 : Image satellite des Jawadhu Hills, 1984 à gauche et 2022 à droite, source : Google Earth, Landsat, p142.

Figure 55 : Carte évolution de l'occupation du sol dans les Jawadhu Hills. Source : Land Use, National Remote Sensing Centre, ISRO, Government of India, Hyderabad, India, 2005 et 2015, p143.

Figure 56 : Carte érosion des sols et occupation du sol dans les Jawadhu Hills. Source : Land Use, National Remote Sensing Centre, ISRO, Government of India, Hyderabad, India 2015, p145.

Figure 57 : Carte érosion du sol et pente des Jawadhu Hills. Source : Land Use, National Remote Sensing Centre, ISRO, Government of India, Hyderabad, India 2015, p146.

Figure 58 : Image satellite 3D de la zone agricole de l'exploitation A en jaune et de l'exploitation visitée le 10 mai 2023 en orange, source : Google Earth, 2018, p147.

Figure 59 : À gauche parcelles avec les manguiers chez l'agriculteur D (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek. À droite vue satellite 3D de la parcelle, source : Google Earth, 2018, p148.

Figure 60 : Carte des stone-bund installés par la DHAN Foundation. Source : Land Use, National Remote Sensing Centre, ISRO, Government of India, Hyderabad, India 2015 et DHAN Foundation, 2023, p152.

Figure 61 : Carte implantation des étangs de la DHAN Foundation. Source : SRTM, 2022 et DHAN Foundation, 2023, p160.

Figure 62 : Carte des étangs de la DF selon l'occupation du sol. Source : SRTM, 2022 et DHAN Foundation, 2023, p163.

Figure 63 : Impact du changement climatique sur la production agricole en fonction des régions d'Asie, source : GIEC, 2014, p164.

Figure 64 : Echelle de mesure FIES, source : FAO, p165.

Figure 65 : Prospectives des précipitations annuelles dans le Tamil Nadu, source : Université de Coimbatore, Tamil Nadu 2008, p170.

Figure 66 : Prospective des précipitations annuelles dans le district de Tiruvannāmalai, source : WASCA, 2021, p172.

Figure 67 : Prospectives des températures minimales et maximales du district de Tiruvannāmalai, source : WASCA, 2021, p173.

Figure 68 : Boucle de rétroaction négative des systèmes agricoles et alimentaires des JH, N. Atek, 2023, p174.

### **Photographies :**

Photographie 1 : Plateau des Jawadhu Hills, juin 2023, cliché N. Atek, p17.

Photographie 2 : Vallée (Jawadhu Hills), mars 2023, cliché C. Rigal, p18.

Photographie 3 : Jacquier (Pudupattu, Jawadhu Hills), mai 2023, cliché N. Atek, p21.

Photographie 4 : Banian (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek, p21.

Photographie 5 : Forêt sèche de feuillus (Jawadhu Hills), mai 2023, cliché N. Atek, p22.

Photographie 6 : Terrain agricole permanent, (Veerappanur, Jawadhu Hills), mars 2023, cliché N. Atek, p23.

Photographie 7 : Terrain en jachère une partie de l'année, (Jamunamarathur, Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek, p23.

Photographie 8 : Paon du temple hindou de Kovilur (Jawadhu Hills), mars 2023, cliché N. Atek, p25.

Photographie 9 : Perspective sur Jamunamarathur (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek, p30.

Photographie 10 : À gauche l'intérieur d'une maison traditionnelle, à droite l'exemple d'une maison moderne (Jawadhu Hills), mai 2023, cliché N. Atek, p39.

Photographie 11 : Immeuble commerçant de la rue principale de Jamunamarathur (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek, p40.

Photographie 12 : À gauche white meal, riz accompagné de plusieurs sauces. À droite idly en blanc avec chappattis et sa sauce sambar dessus (Jawadhu Hills), mars 2023, cliché N. Atek, p40.

Photographie 13 : À gauche Uluthu vadai et à droite Dhal valai (Jawadhu Hill), juin 2023, cliché N. Atek, p41.

Photographie 14 : À gauche boulette de mil sucré, à droite Bonda (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek, p41.

Photographie 15 : Rizières à différents stades de maturation, à gauche en mars 2023 à droite fin mai 2023 (Jawadhu Hills), cliché N. Atek, p49.

Photographie 16 : Beeman fall (Jawadhu Hills), mai 2023, cliché N. Atek, p52.

Photographie 17 : Préparation des enquêtes de terrain avec les référents locaux de la DF, S. Manjubarkavi, N. Atek et M. Rzegoczan (Jamunamarathur), mai 2023, cliché S. Manjubarkavi, p56.

Photographie 18 : Atelier de frise chronologique des cultures animé par P. Anitha, référente locale de DHAN Foundation dans les Jawadhu Hills, cliché N. Atek, mars 2023, p59.

Photographie 19 : Panchayat de Jamunamarathur (Jawadhu Hills), mai 2023, cliché N. Atek, p120.

Photographie 20 : Village de Pallathur (Jawadhu Hills), avril 2023, cliché N. Atek, p121.

Photographie 21 : Village de Pallathur (Jawadhu Hills), avril 2023, cliché N. Atek, p122.

Photographie 22 : Arbre à problème/solution réalisé lors de l'entretien de groupe dans le village de Pudupattu (Jawadhu Hills), 24 mai 2023, cliché de N. Atek, p131.

Photographie 23 : Chemin d'accès pour aller à Melpuligankuppam endommagé par les pluies, mai 2023, cliché N. Atek, p133.

Photographie 24 : Agriculteur A à gauche avec son frère, montrant une charrue en fer (Melpuligankuppam), mai 2023, cliché N. Atek, p134.

Photographie 25 : Entretien de groupe avec S. Manjubarkavi (Jawadhu Hills), 24 mai 2023, cliché du mari de S. Manjubarkavi, p134.

Photographie 26 : Eleusine cultivée par l'agriculteur D (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché de N. Atek, p136.

Photographie 27 : Photographie de l'exploitation située en haut de versant visitée avec l'agriculteur A (Jawadhu Hills), mai 2023, cliché N. Atek 2023, p148.

Photographie 28 : Stone-bund pour diminuer l'érosion au village de Pallathur (Jawadhu Hills), avril 2023, cliché N. Atek, p150.

Photographie 29 : Rénovation de l'étang de Kovilur, mars 2023, cliché N. Atek, p162.

Photographie 30 : Étang rénové de Kovilur, juin 2023, cliché N. Atek, p162.

Photographies 31 : Arbre à problème/solution réalisé durant les entretiens (Jawadhu Hills), juin 2023, cliché N. Atek, p177.

### **Tableaux :**

Tableau 1 : Répartition des villages par tranche de population, source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17, p30.

Tableau 2 : Scolarisation des enfants dans les Jawadhu Hills. N. Atek, 2023, source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17, p37.

Tableau 3 : Nombre de professeurs par type d'établissement dans les Jawadhu Hills, N. Atek, 2023, source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2016-17, p37.

Tableau 4 : Alphabétisation dans les Jawadhu Hills, M. Rzegoczan, 2023, source : Department of Economics and Statistics, Government of Tamil Nadu, 2017, p38.

Tableau 5 : Calendrier de la distribution des pluies en Inde. N. Atek, Université d'Orléans, 2023, source : Indian Meteorological Department, 2023, p79.

Tableau 6 : Répartition des précipitations annuelles selon les normales mensuelles du district de Tiruvannāmalai. N. Atek, Université d'Orléans, 2023. Source : Indian-WRIS, 2023, p93.

Tableau 7 : Valeurs de l'indice SPI, source : OMM, 2012, p94.

Tableau 8 : Exemple de calendrier agricole dans les Jawadhu Hills, N. Atek 2023, p157.

Tableau 9 : Profils agricoles des Jawadhu Hills, N. Atek, 2023, p167.

## **Annexes :**

Annexe 1 : Classification des forêts indienne, source : Champion et Seth, 1968, p207.

Annexe 2 : Événements El Niño et La Niña selon leur intensité sur des périodes de trois mois, réalisée par N. Atek, source : NOAA, 2023, p208-210.

Annexe 3 : Exemple de représentation cartographique des précipitations du district de Tiruvannāmalai durant la mousson du sud-ouest en 2022, source : Indian-WRIS, 2022, p211.

Annexe 4 : Tableau des épisodes d'ENSO et des tendances de précipitations sur le district de Tiruvannāmalai, 1950-2022, réalisé par N. Atek, 2023, source : Indian-WRIS, 2022, p212-2013.

Annexe 5 : Paramètres des relevés de l'Observatoire astronomique de Vainu Bappu, source : VBO, 2023, p214.

Annexe 6 : Échantillon de données brutes des précipitations journalières le 1 juin 2008 dans les Jawadhu Hills, source : VBO, 2022, p215.

Annexe 7 : Grille d'entretien de l'enquête auprès des agriculteurs des Jawadhu Hills, réalisée par N. Atek, 2023, p216-218.

Annexe 8 : Tableau de synthèse des résultats d'enquête menée dans les Jawadhu Hills auprès des agriculteurs, N. Atek, 2023, p219-223.

## Glossaire

CEDETE : Centre d'Étude pour le Développement des Territoires et l'Environnement

CITERES : Cités, Territoires, Environnement et Sociétés

DF : *DHAN Foundation*

ENSO : Oscillation Australe El Niño

FAO : Food and Agriculture Organization of United Nations

GÉHCO : GéoHydrosystème Continentaux

GIEC : Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

IFP : Institut Français de Pondicherry

Indian-WRIS : *Water Resource Information System*

IOD : *Indian Ocean Dipole*

ION : Index Océanique Niño

IPCC : *The Intergovernmental Panel on Climate Change*

JH : Jawadhu Hills

NOAA : *National Oceanic and Atmospheric Administration*

PATAMIL : Projets Alimentaires Territoriaux TAMIL Nadu

PRA : *Participatory Rural Appraisal*

WASCA : *Water Security Climate Adaptation in Rural India*

## Table des matières

Remerciements.....	3
Résumé.....	5
Sommaire .....	6
Introduction.....	1
I - Les Jawadhu Hills, un territoire tribal pionnier dans la redécouverte des millets et dans l'anticipation au changement climatique .....	7
1. 1 Les Jawadhu Hills, une terre tribale essentiellement rurale et agricole du Sud de l'Inde	9
1.1.1 L'Inde, entité nationale aux fortes disparités géoclimatiques régionales .....	9
1.1.2 Les <i>Malayalis</i> , tribu dominante dans les Jawadhu Hills .....	25
1.1.3 L'agriculture, activité économique traditionnelle .....	42
1. 2 Les Jawadhu Hills, un lieu d'intervention historique de la <i>DHAN Foundation</i> .....	53
1.2.1 Les préceptes de Gandhi, inspiration des fondements de la <i>DHAN Foundation</i> ....	53
1.2.2 La <i>DHAN Foundation</i> , des actions nationales diversifiées .....	54
1.2.3 Les Jawadhu Hills terre d'action pour le développement agricole et l'adaptation au changement climatique.....	56
1.3 Le projet PATAMIL, une recherche action multi-acteurs en faveur de la justice alimentaire, de la sensibilisation au changement climatique et la lutte contre la pauvreté et l'indignité.....	62
1.3.1 La recherche d'une justice alimentaire et d'une alimentation durable, origine d'un travail de coopération multi-acteur entre la France et l'Inde .....	62
1.3.2 Les Jawadhu Hills terrain propice à l'étude de la sécurité alimentaire à travers les dynamiques agricoles et le changement climatique.....	65
2. Le changement climatique, incantation utile ou réalité effective ? .....	71

2.1	Quels sont les marqueurs du changement climatique dans un pays qui connaît naturellement de grandes variabilités climatiques ? .....	73
2. 1. 1	L'Inde, vers une hausse des températures et une intensification des événements météorologiques extrêmes dues au changement climatique.....	73
2. 1. 2	La mousson indienne et ses variabilités, entre changement climatique et interactions air-mer/air-terre .....	79
2. 1. 3	L'ENSO et le changement climatique : vers une intensification des phénomènes extrêmes et leurs répercussions sur la mousson indienne .....	86
2.2	L'étude des précipitations dans le district de Tiruvannāmalai pour comprendre les impacts du changement climatique .....	91
2.2.1	Des sécheresses plus longues et plus intenses les deux dernières décennies .....	92
2.2.2	Des pluies plus intenses et concentrées sur de plus courtes périodes.....	102
2.2.3	L'impact d'ENSO à nuancer sur les événements météorologiques extrêmes du district de Tiruvannāmalai.....	107
2.3	L'étude du changement climatique dans les Jawadhu Hills limitée par la disponibilité des données.....	111
2.3.1	L'étude de l'évolution des précipitations non révélatrice des tendances des Jawadhu Hills .....	111
2.3.2	Les Jawadhu Hills propice aux microclimats, facteur limitant l'étude du changement climatique.....	119
3.	Entre perception et anticipation, l'étude du changement climatique à travers le regard des agriculteurs des Jawadhu Hills .....	127
3.1	L'érosion du sol, un enjeu pour les agriculteurs des Jawadhu Hills.....	129
3.1.1	La perception des fermiers, un apport essentiel pour l'analyse du changement climatique dans les Jawadhu Hills .....	129
3.1.2	Les Jawadhu Hills, un territoire sensible à l'érosion du sol : vulnérabilité territoriale, cause du changement climatique ou origine anthropique ? .....	139
3.1.3	Le <i>stone-bunding</i> , principale mesure d'atténuation face l'érosion du sol .....	148

3.2 La sécurité alimentaire des agriculteurs des Jawadhu Hills menacée par les variabilités climatiques ?.....	154
3.2.1 Le calendrier agricole en perpétuel évolution .....	154
3.2.2 La gestion de l'eau véritable enjeu dans les Jawadhu Hills .....	158
3.2.3 L'insécurité alimentaire présente et différenciée selon les profils des agriculteurs	165
3.3. Entre augmentation des températures et des événements extrêmes météorologiques, quels leviers pour l'avenir agricole des Jawadhu Hills ?.....	170
3.3.1 Une prospective climatique à deux niveaux : entre études climatologiques et préoccupations des agriculteurs .....	170
3.3.2 Entre amélioration des connaissances et soutiens techniques, quelles attentes des agriculteurs pour améliorer leur capacité de résilience face aux aléas climatiques ?...	177
Conclusion .....	186
Bibliographie.....	193
Annexe.....	208
Table des figures, photographies et tableaux.....	225
Glossaire .....	231
Table des matières.....	232