
Rapport de stage individuel

4^{ème} année

Eau, agriculture et résilience : analyse du rôle des réservoirs dans le Tamil Nadu

Institut Français de Pondichéry

11 St Louis Street, 605001 Pondicherry, Puducherry,
INDIA

Tuteurs entreprise : Samuel Corgne (chef
du département géomatique) et Laura
Verdelli (enseignante-chercheuse)

Tutrice académique : Mathilde Gralepois

Manon Couderc

2024-2025

UIT-RESEAU

Table des matières

Remerciements	3
Introduction	4
<i>L'Institut Français de Pondichéry : la recherche à la croisée des cultures française et indienne</i>	5
Cadre de la mission	6
Définition du sujet	6
Le projet PATAMIL	6
Sujet collectif : les réservoirs à ciel ouvert	7
Sujet personnel : réservoir et agriculture	7
Les livrables attendus	7
Un rapport de recherche et l'animation d'un colloque	7
Des rendus intermédiaires	7
Méthode de travail	8
Une méthode de gestion de projet agile	8
Un calendrier établi mais prêt à évoluer	8
Déroulé de la mission	10
Terrain, outils et données	10
Les réservoirs Osudu et Kanagan	10
Outils	11
Données	11
Phase introductive : revue de littérature	12
Histoire, fonction et enjeux des réservoirs dans le contexte agricole	12
Télédétection	13
Comportement hydrologique	14
Réponse hydrologique	14
Volumes entrants	21
Besoins en eau	24
Conclusion	27
Conclusion et retour sur expérience	28
Références	29

Liste des tableaux et figures

Figure 1 : Organigramme simplifié et organisation de l'IFP	6
Figure 2 : Application de la méthode agile lors du stage, encadrement	8
Figure 3 : Calendrier prévisionnel et réel de travail	10
Figure 4 : Carte de la zone d'étude : les réservoirs Osudu et Kanagan	11
Figure 5 : Tableau récapitulatif des outils utilisés	11
Figure 6 : Tableau récapitulatif des données utilisées	12
Figure 7 : Fonctions et usages des réservoirs (Ariza, Galan, & Serrano, 2007)	13
Figure 8 : Procédé de cartographie des réservoirs	14
Figure 9 : Conversion de L1C en L2A	15
Figure 10 : Filtrage des nuages	15
Figure 11 : Spécification des bandes Sentinel-2 (Sur, Kumar, & Pateriya, 2021)	15
Figure 12 : Comparaison entre le filtre MNDWI et le filtre AWEIsh	16
Figure 13 : Répartition bimodale des pixels pour l'indice AWEIsh	17
Figure 14 : Application du seuil d'Otsu	17
Figure 15 : Extrait de l'évolution de la surface des réservoirs Osudu et Kanagan	18
Figure 16 : Carte de la couverture spatiale des stations pluviométriques autour des bassins versants autour d'Osudu et Kanagan	19
Figure 17 : Pluviométrie sur les réservoirs Osudu et Kanagan en 2023 et 2024 ; Station VANUR ; Données TN-Smart	20
Figure 18 : Résultats du coefficient de corrélation de Pearson entre la pluie et la surface des réservoirs	20
Figure 19 : Processus de modélisation des volumes d'eau entrants	21
Figure 20 : Processus de délimitation de bassin versant	21
Figure 21 : Bassins versants des réservoirs Osudu et Kanagan	22
Figure 22 : Pluviométrie mensuelle moyenne entre 1995 et 2014, Données CHIRPS	22
Figure 23 : Coefficient de ruissellement en fonction du type de sol et de la pente (Chow & Maidment, 1988) (Viessmen & Lewis, 2003) (United States Department of Agriculture, 1986) (Zhai, Hou, Zhang, & Chen, 2023) (Susilawati, 2016) (Yanti, 2018) (Landemaine, 2023)	23
Figure 24 : Occupation des sols des bassins versants des réservoirs Osudu et Kanagan	23
Figure 25 : Répartition mensuelle des volumes d'eau entrants moyens	24
Figure 26 : Points de relevés terrain du réservoir Osudu	25
Figure 27 : Surfaces et parts des cultures à Osudu	26
Figure 28 : Besoins hydriques, fréquence annuelle et périodes d'irrigation des cultures	26
Figure 29 : Equilibre mensuel entre besoins hydriques agricoles et volume entrant	27
Figure 30 : Rendements agricoles et besoins par personne (Directorate of Economics and Statistics, 2024) (Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2022)	27

Remerciements

Ces quelques lignes me donnent l'occasion de remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont permis la réalisation de ce stage dans d'excellentes conditions.

En premier lieu, j'adresse mes remerciements à **Samuel Corgne** pour la grande confiance qu'il a placée en moi, pour son accompagnement, sa disponibilité et sa passion communicative dans tout ce qu'il entreprend. Ses enseignements et conseils m'ont permis de progresser bien au-delà de mes attentes initiales.

Je tiens également à remercier **Laura Verdelli**, grâce à qui ce stage, à l'autre bout du monde, a pu voir le jour. Son encadrement bienveillant et ses conseils avisés ont joué un rôle essentiel dans la réussite de ce projet et dans mon développement tant professionnel que personnel.

Je désire pareillement remercier **Mathilde Gralepois** pour sa disponibilité (même en vacances !) et ses conseils lors de la rédaction de ce rapport de stage.

J'aimerais aussi remercier mes amis et collègues **Tristan Le Pape, Alexis Burger et Estelle Chartier**, sans qui je ne me serais peut-être pas engagée dans cette aventure. Les moments de partage, d'apprentissage et les discussions que nous avons eu ensemble m'ont poussé à toujours faire de mon mieux.

Je saisis l'occasion de remercier l'ensemble de **l'équipe enseignante et administrative de Polytech Tours** à qui j'espère offrir, à travers ce travail, le témoignage de ma sincère gratitude et de mon profond respect.

J'aimerais enfin remercier **Renaud Colson** et à travers lui à toute l'équipe de **l'Institut Français de Pondichéry** pour la confiance qui m'a été accordée et pour les précieuses opportunités d'apprentissage qui m'ont été offertes.

Introduction

Dès mon arrivée à Pondichéry, j'ai été confrontée à une réalité simple : l'eau est une ressource rare et essentielle pour l'agriculture locale. C'est dans ce contexte que j'ai réalisé mon stage à l'Institut Français de Pondichéry (IFP), au sein du département de géomatique.

Ce département, le plus technique de l'institut, mobilise la télédétection, la modélisation et l'analyse spatiale pour étudier les dynamiques environnementales et territoriales. Intégrée à cette équipe avec mes camarades stagiaires Tristan Le Pape, Alexis Burger et Estelle Chartier, notre objectif était d'offrir un panorama le plus complet possible des réservoirs d'eau à ciel ouvert dans la région du Tamil Nadu.

Dans ce cadre, ma mission a consisté à évaluer la pertinence actuelle des réservoirs à ciel ouvert du Tamil Nadu pour l'agriculture. Autrefois centraux dans la gestion de l'eau, ils sont aujourd'hui largement délaissés au profit du pompage dans les nappes phréatiques. L'objectif était donc d'analyser leur rôle dans l'irrigation agricole, en particulier leur capacité à répondre aux besoins en eau des cultures locales. Pour cela, j'ai combiné plusieurs approches : l'analyse d'images satellites, des données pluviométriques, des modèles hydrologiques et des observations de terrain. Deux livrables majeurs ont structuré ce travail : un rapport scientifique et une présentation orale lors d'un colloque interne à l'IFP.

Au-delà de l'intérêt scientifique, ce sujet m'a permis de découvrir concrètement le rôle des réservoirs comme interface entre environnement et agriculture. Il m'a aussi appris à articuler des méthodes de recherche complexes, à ajuster ma démarche face aux imprévus, et à développer une réflexion critique sur les résultats produits. Ce stage m'a donc offert non seulement une expérience technique et scientifique, mais aussi une véritable immersion dans la manière dont la recherche peut contribuer à des enjeux contemporains essentiels.

Ce rapport présente d'abord l'Institut Français de Pondichéry et le cadre de la mission, avant de développer les méthodes et résultats obtenus pour répondre à la problématique suivante : **dans quelle mesure les réservoirs à ciel ouvert du Tamil Nadu contribuent-ils aujourd'hui à la sécurité alimentaire en soutenant l'irrigation agricole ?**

L'Institut Français de Pondichéry : la recherche à la croisée des cultures française et indienne

L'Institut Français de Pondichéry (IFP) occupe une place particulière dans le paysage de la recherche, à la fois en Inde et au sein du réseau des établissements scientifiques français à l'étranger. Cette institution de taille moyenne connaît un important renouvellement de ses effectifs lié à des contrats de courte durée (souvent quatre ans) pour les chercheurs expatriés. De ce fait, elle emploie en moyenne entre 100 et 120 personnes.

Fondé en 1955, dans le contexte de la fin de la présence coloniale française à Pondichéry, l'IFP fait aujourd'hui partie d'un dense réseau d'institutions françaises comprenant le consulat, l'Alliance française et le lycée français. Les premières recherches ont porté sur l'indologie, avant de s'élargir à la sociologie. Les départements d'écologie et de géomatique n'ont fait leur apparition que plus tardivement. Le département de sociologie est aujourd'hui le plus important, regroupant plus de la moitié des chercheurs. À l'inverse, le département de géomatique est le plus restreint, avec trois chercheurs et un volontaire international, mais bénéficie d'un nombre croissant de stagiaires.

Ce qui caractérise l'IFP c'est sa capacité à articuler des compétences diverses dans des projets ancrés sur le terrain. Son approche repose sur une connaissance fine de l'Inde du sud et sur une volonté constante de faire dialoguer les disciplines dans un souci de compréhension globale des enjeux sociaux et environnementaux. Loin d'être une simple "antenne" de la recherche française à l'étranger, l'IFP est un acteur reconnu et actif des réseaux de recherche internationaux avec 179 publications recensées en 2024 (HAL, 2025), en particulier sur les questions de développement durable, de gouvernance des ressources et de dynamiques territoriales,.

L'organisation du travail est marquée par une volonté d'interaction permanente favorisant l'échange d'idées et l'innovations méthodologiques. Dans ce cadre de nombreux événements sont organisés dans l'objectif de faire se rencontrer des personnes de différents département et nationalités. L'institut organise par exemple les *Monday Colloquium*, colloques se tenant, comme leur nom l'indique, les lundis durant lesquels les stagiaires, doctorants et chercheurs présentent leur travail à leurs pairs dans l'objectif de recevoir des retours, critiques constructives et conseils. Les *Internal Knowledge and Skill Sharing Seminar* sont un moyen de partager des idées et des outils internes améliorant l'expérience de travail et le partage d'informations. Des projections de films documentaires suivis de discussions avec l'équipe de réalisation favorisent également les échanges culturels et humains. Cette dimension collective et collaborative est renforcée par l'accueil régulier de doctorants, de post-doctorants et de stagiaires, qui contribuent activement aux recherches en cours tout en bénéficiant d'une formation à la recherche rigoureuse.

Mon stage s'inscrit dans ce cadre intellectuel stimulant. Intégrée au département de géomatique (Figure 1), cette immersion me permet non seulement d'acquérir des compétences techniques (traitement de données spatiales, analyse hydrologique, observation de terrain), mais aussi de m'immerger dans une culture de recherche où l'exigence scientifique s'articule étroitement à la compréhension des dynamiques locales.

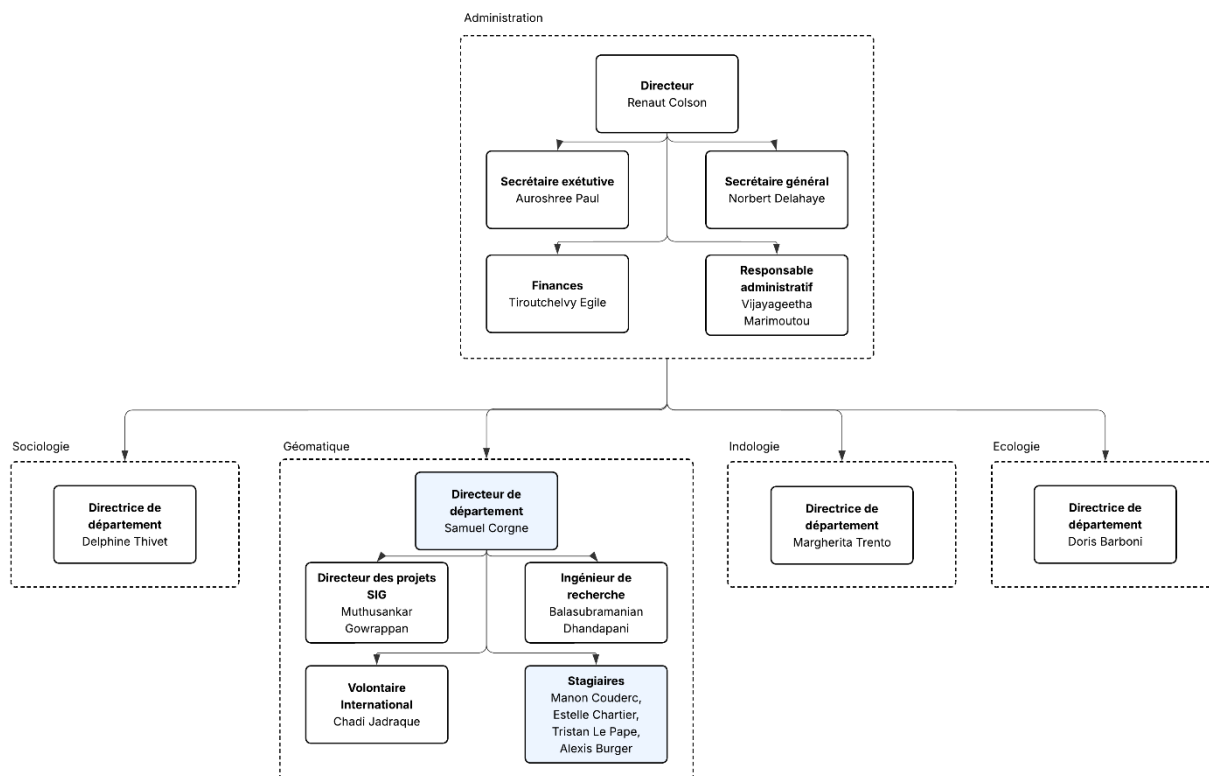


Figure 1 : Organigramme simplifié et organisation de l'IFP

Cadre de la mission

Nous sommes arrivés à l'IFP comme un groupe de quatre stagiaires : Tristan, Alexis, Estelle et moi-même. Dès le début du stage et afin de fonctionner correctement ensemble, nous avons définis avec nos encadrants les objectifs, c'est-à-dire les livrables, et délimiter clairement nos sujets.

Définition du sujet

La caractérisation précise du sujet de stage et de recherche est une étape à part entière qui a commencé avant le début du stage et s'est affinée ensuite. Le partage et le positionnement bien défini des sujets pour chacun d'entre nous a été une étape clé pour nous permettre de travailler ensemble sans se gêner mutuellement.

Le projet PATAMIL

Mon travail s'inscrit dans le projet PATAMIL, visant à promouvoir la justice et l'équité alimentaires en combinant les regards et les dynamiques de deux territoires : la région Centre-Val de Loire en France et le Tamil Nadu / Pondichéry en Inde. L'enjeu est de rompre avec les quatre constats établis par les acteurs des systèmes alimentaires. Le premier constat est celui d'une alimentation à deux vitesses, le deuxième montre un manque d'encouragement envers les initiatives locales, le troisième réside dans les angles-morts de la recherche sur le sujet de l'équité alimentaire et le quatrième d'articule autour du manque de collaboration entre territoires lointains qui favoriserait pourtant l'innovation (CITERES, 2025) (PATAMIL, 2025).

Le projet s'articule autour de six tâches : L'analyse des conditions écologiques, agronomiques et sociales pour des systèmes alimentaires équitables au Tamil Nadu (1) ; L'étude de la gouvernance et de la résilience des initiatives alimentaires (2) ; L'articulation entre justice alimentaire, territoires, mobilisations citoyennes et implications institutionnelles (3-4) ; La diffusion des résultats auprès du

grand public par des actions culturelles et éducatives (5) ; La mise en place d'une gouvernance participative impliquant des acteurs indiens et français (6) (PATAMIL, 2025).

Sujet collectif : les réservoirs à ciel ouvert

Dans le cadre du projet PATAMIL, Laura Verdelli nous a proposé de travailler sur sa première tâche et en particulier sur les réservoirs à ciel ouvert. Tristan, Alexis, Estelle et moi-même avons donc proposé de répondre à la question *Dans quelle mesure l'ouverture des réservoirs peut-elle être une solution durable aux problèmes d'eau au Tamil Nadu, dans un contexte de changement climatique, d'intensification agricole et de transformation socio-environnementale ?* en traitant chacun un aspect de la question. Ainsi, Tristan se concentre sur la compréhension des dynamiques actuelles des tanks, Alexis explore les critères spatiaux et hydrologiques qui peuvent être combinés pour identifier des sites optimaux pour construire de nouveaux réservoirs, mon travail est dédié à évaluer la pertinence actuelle des réservoirs dans le soutien de l'agriculture et production alimentaire, enfin, Estelle étudie leur résilience future et leur adaptation aux changements environnementaux en cours.

Ce découpage permet à chacun d'effectuer un travail individuel tout en répondant à un sujet collectif dans lequel les synergies sont nombreuses.

Sujet personnel : réservoir et agriculture

Afin de me situer au plus proche de la question de la sécurité et l'équité alimentaire, centrale dans le projet PATAMIL, j'ai choisi d'évaluer la pertinence de la remise en place des réservoirs à ciel ouvert dans le Tamil Nadu d'un point de vue agricole. Dans cet objectif, il s'agit de déterminer ce que pourraient apporter ces réserves en eau, c'est-à-dire dans quelle mesure les réservoirs répondent aux besoins en eau actuels pour l'irrigation.

Les livrables attendus

Le travail s'est articulé autour de deux livrables finaux complémentaires et de trois livrables intermédiaires garantissant un suivi régulier.

Un rapport de recherche et l'animation d'un colloque

Deux livrables finaux étaient attendus dans le cadre de ce stage.

Le premier a pris la forme d'un rapport de recherche scientifique complet, structuré autour d'un état de l'art, de la méthode employée et des résultats obtenus (Annexe 1). Ce rapport a été conçu pour être utilisé au-delà du stage : il inclut en annexe les scripts et manipulations logicielles afin de faciliter la poursuite et l'appropriation du travail par de potentiels futurs stagiaires.

Le second livrable a été une présentation réalisée lors d'un *Monday Colloquium*, un rendez-vous scientifique hebdomadaire organisé chaque lundi à l'IFP. Ces colloques, animés le plus souvent par des stagiaires mais aussi parfois par des doctorants ou des chercheurs, ont pour objectif d'exposer et de confronter une méthode et des résultats aux autres membres de l'Institut. Ils s'inscrivent dans une démarche de partage des connaissances et de communication entre départements et disciplines. Cet apport scientifique s'accompagne naturellement du développement de compétences essentielles, telles que la présentation d'un sujet complexe en anglais, la capacité à le rendre accessible à un public non spécialiste et l'aptitude à synthétiser trois mois de recherche dans un temps limité. Ce livrable se compose d'un support de présentation (Annexe 2) et du texte l'accompagnant (Annexe 3).

Ces deux livrables, complémentaires, ont permis à la fois de diffuser les résultats auprès de la communauté scientifique locale et d'assurer la transmission des connaissances et outils produits.

Des rendus intermédiaires

Les rendus intermédiaires ont constitué un outil essentiel pour assurer le suivi de mon travail. Ils ont permis à mes encadrants d'évaluer l'avancement du projet et, pour moi, de valider les étapes réalisées,

de poser des questions sur les points bloquants et de discuter des orientations à venir. Trois présentations orales ont ainsi été réalisées, chacune donnant lieu à des retours qui ont nourri des améliorations continues. Elles ont également servi à perfectionner progressivement le contenu et le support de présentation, dont la version aboutie a été celle du *Monday Colloquium*.

Chaque présentation a été faite devant un public différent, offrant des perspectives variées : la première, très axée sur la télédétection, devant l'ensemble du département de géomatique ; la deuxième devant Samuel Corgne ; et la troisième devant Laura Verdelli. Cette diversité de publics a permis de recueillir des retours complémentaires, allant de l'approche technique à des réflexions plus sociales.

Chaque présentation a ainsi joué le rôle d'un jalon, favorisant l'amélioration continue du projet et son adaptation aux imprévus, tout en garantissant une progression constante vers les livrables finaux grâce aux retours obtenus.

Méthode de travail

Une méthode de gestion de projet agile

La gestion de projet s'est inscrite dans une démarche inspirée de la méthode agile. Le travail a été découpé en phases successives d'environ deux semaines, chacune associée à des tâches identifiées et à des objectifs concrets visant la production de sous-ensembles opérationnels, bien que leur validation n'ait pas été systématique. Le sujet lui-même n'a pas été fixé immédiatement ; il a été affiné et réajusté afin d'assurer sa cohérence avec les moyens disponibles et les délais impartis, avant d'être validé. Le temps passé à étudier la demande pour la cerner et y répondre au mieux est en réalité un investissement qui m'a permis de gagner du temps par la suite. Le travail réalisé a donc été confronté aux attendus régulièrement grâce à un suivi assidu (Figure 2).

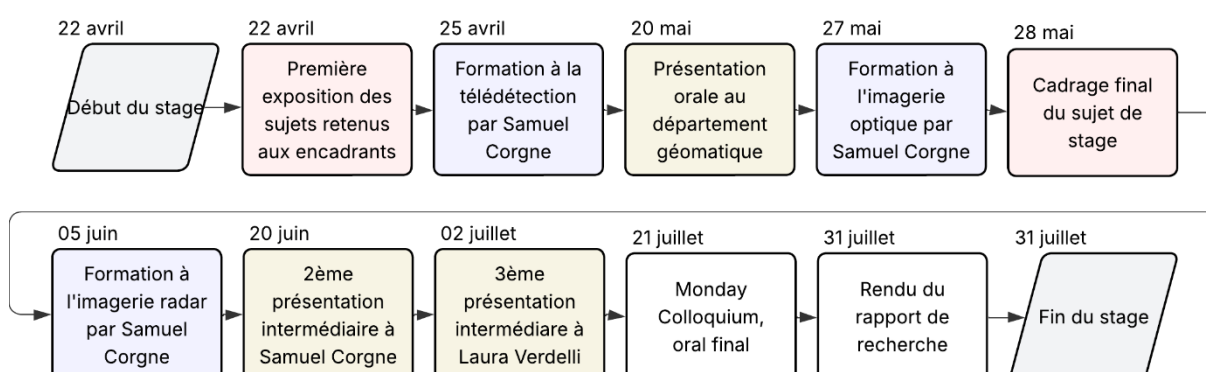


Figure 2 : Application de la méthode agile lors du stage, encadrement

L'état de livraison a été permanent car la rédaction du rapport de recherche a été réalisée au fur et à mesure de l'avancement, permettant de conserver une vision d'ensemble actualisée.

Enfin j'ai veillé à intégrer une capacité d'adaptation face aux imprévus : le programme initial a ainsi été ajusté en fonction des contraintes rencontrées, l'organisation prévoyant environ deux semaines pour absorber ces changements inévitables.

Un calendrier établi mais prêt à évoluer

Dès les premiers jours, j'ai construit un planning prévisionnel en autonomie afin de me fixer des objectifs clairs, d'obtenir des résultats réguliers et de visualiser l'avancement de mon travail. Ce calendrier, validé par mes encadrants, m'a confortée dans ma démarche, en me permettant d'arriver chaque jour avec des tâches précises à accomplir et de maintenir une régularité dans mes temps de travail. Bien qu'il ait été respecté au jour près durant les six premières semaines, des imprévus et événements non anticipés m'ont conduite à l'adapter progressivement (Figure 3). J'avais conscience qu'il n'était pas tenable tel quel sur toute la durée du stage, et je pense avoir réussi à l'ajuster de

manière pertinente. Cette capacité d'adaptation s'inscrit d'ailleurs pleinement dans l'esprit de la méthode agile, où l'ajustement continu face aux réalités du terrain constitue une dimension essentielle de la réussite.

Semaines	Planning anticipé	Planning réel
1 et 2	Découverte : Arrivée à l'IFP Installation, et appropriation de l'environnement de travail Administratif et enregistrement auprès des services indiens Lectures d'article scientifique sur les réservoirs dans le Tamil Nadu et les moyens de les détecter → Sujet défini, rétroplanning, amorce de revue de littérature	Identique
3 et 4	Téledétection des réservoirs : Mise en place de la méthode Vérification et validation de la méthode Application de celle-ci → Cartes des réservoirs sur un an	Identique
5 et 6	Données pluviométriques : Acquisition et vérification, interpolation si nécessaire Triangulation pour les précipitations des réservoirs retenus → Courbes pluviométriques sur un an pour chacun des réservoirs étudiés	Identique
7 et 8	Apports en eau : Modélisation du volume d'eau capté par chaque réservoir Corrélation entre pluviométrie et niveau d'eau Estimation des niveaux d'eau par mois ou saison et comparaison avec les résultats obtenus avec les images radar → Résultats quantitatifs	Modèle numérique de terrain et carte d'occupation des sols : Récupération des données Délimitation des bassins versants Calcul des coefficients de ruissellement → Carte des bassins versants et de l'occupation des sols
9 et 10	Besoins agricoles et irrigation : Identification des zones de cultures autour des réservoirs et détermination de celles irriguées grâce à de l'eau du réservoir Estimation des besoins en eau pour les cultures Correspondance entre volumes disponibles et besoins → Carte des zones d'exploitation et résultats quantitatifs	Réponse hydrologique : Extraction de l'évolution temporelle de la surface des réservoirs Etude de la corrélation entre les précipitations et les surfaces → Délais entre précipitation et remplissage effectif Usages agricoles autour du réservoir Osudu : Préparation de la sortie terrain → Carte des points à visiter et leur coordonnées GPS, tableau des observations à remplir

11 et 12	Modélisation de l'irrigation et de la production agricole, de la disponibilité en eau pour l'irrigation et enfin estimation de la production agricole	Usage agricole autour du réservoir Osudu : Visite de terrain → Tableau des cultures principales et secondaires pour les 64 points
		Production agricole : Exploiter les données terrain → Quantité d'eau nécessaire à l'irrigation, quantités produites et équivalent de personnes nourries
13, 14 et 15	Finalisation : Temps alloué aux imprévus Rédaction Mise en page Relecture → Rapport final	Préparation de l'oral de présentation → Support et oral de présentation en anglais
		Rédaction du rapport de recherche et mise en commun avec les camarades pour un recueil → Recueil avec rapport final

Figure 3 : Calendrier prévisionnel et réel de travail

Déroulé de la mission

La réalisation de la mission peut être découpée en quatre grandes étapes : une phase introductive, le comportement hydrologique, le volume d'eau demandé et la concordance entre la demande en eau et sa disponibilité.

Terrain, outils et données

Les réservoirs Osudu et Kanagan

Mon travail s'est concentré sur deux réservoirs : Osudu et Kanagan (Figure 4). Ce choix s'inscrit dans la continuité de travaux déjà réalisés dans le cadre du projet PATAMIL. Les réservoirs y avaient été abordés sous l'angle sociologique, notamment avec la perception des réservoirs par les habitants y vivant autour. J'ai souhaité profiter du fait d'être dans le département géomatique et de mes connaissances en hydrologie pour apporter des informations différentes sur ces réservoirs.

Le choix de ces deux réservoirs permet également d'étudier deux situations très différentes : Osudu, se trouve dans une région principalement agricole et boisée alors que Kanagan se situe dans un cadre périurbain. Ces deux environnements contrastés permettent de comparer comment différents contextes affectent le comportement hydrologique et l'utilisation de l'eau.

Terrain d'étude : réservoirs Osudu et Kanagan

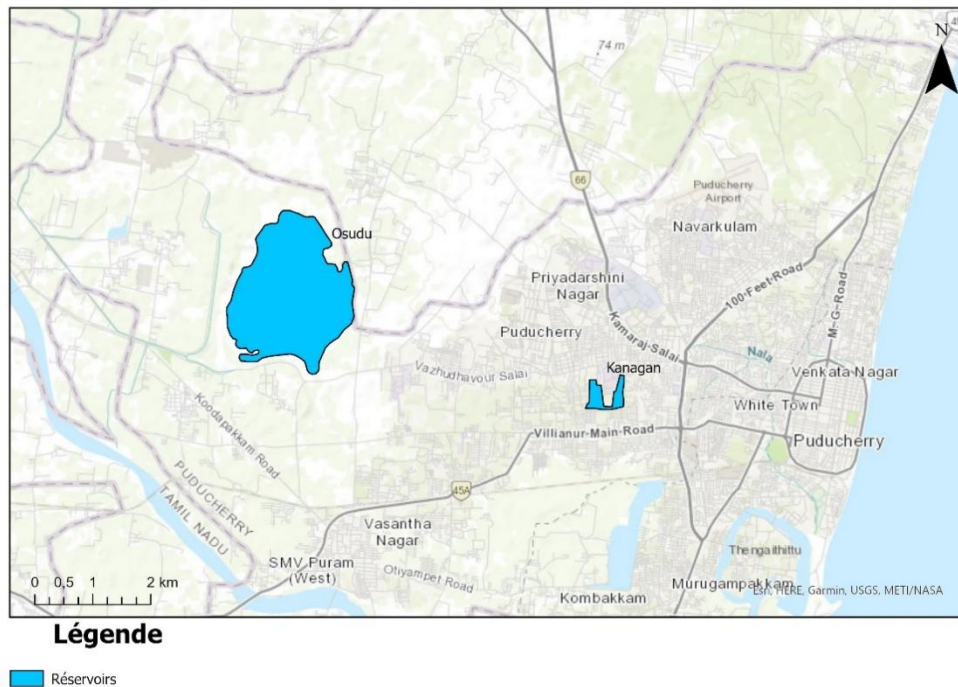


Figure 4 : Carte de la zone d'étude : les réservoirs Osudu et Kanagan

Outils

Parmi les trois principaux outils informatiques utilisés (Figure 5), j'avais déjà une bonne maîtrise d'Excel, acquise notamment lors des cours de statistiques suivis en classe PeiP et en troisième année. Je n'ai donc pas nécessairement acquis de nouvelles compétences sur ce logiciel, mais j'ai consolidé et mobilisé celles que je possédais déjà. Lorsque j'ai utilisé les SIG (Système d'Information Géographique), les outils que j'ai utilisés avaient pour la plupart été abordés lors du cycle ingénieur. En revanche, j'ai rencontré plus de difficulté dans la gestion des géoréférencement et des projections cartographiques. De la même façon, j'ai significativement enrichi mes connaissances en programmation, en particulier en Python, car les scripts nécessaires à l'automatisation de certaines tâches étaient plus complexes que tout ce que j'avais réalisé jusque-là. Enfin, j'ai découvert le logiciel SNAP, présenté par Samuel Corgne, qui m'a permis d'acquérir des bases solides en télédétection.

Outil	Objectif
SNAP	Traiter les images satellite lors du processus de télédétection
Python	Automatiser des tâches chronophages comme l'extraction de données, le comptage de pixels ou la recherche de seuil
Excel	Calculer des statistiques et dessiner des graphiques
SIG QGIS et ArcGIS	Traiter des données géoréférencées Créer des cartes

Figure 5 : Tableau récapitulatif des outils utilisés

Données

Ces outils ont été appliqués à différents ensembles de données (Figure 6). Les images satellites Sentinel-2 ont permis de suivre l'évolution des surfaces en eau. Le modèle numérique de terrain de Copernicus a servi à délimiter les bassins versants et à prendre en compte l'effet des pentes sur le ruissellement. Les données pluviométriques proviennent de deux sources : les

séries mondiales CHIRPS, utiles pour analyser les tendances de long terme, et les données locales TN-SMART, plus proches de la réalité du terrain. Enfin, les cartes d'occupation du sol ont permis d'affiner l'estimation du ruissellement en fonction des usages du sol.

Nom	Sources	Année	Objectif	Lien
Images Sentinel-2	Géodes CNES	2024	Mesurer la surface des réservoirs grâce à la télédétection	https://geodes-portal.cnes.fr/
Modèle numérique de terrain	Copernicus 30	2015	Déterminer les bassins versants des réservoirs Calculer l'influence de la pente sur le ruissellement	https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTSDEM.032021.4326.3
Pluviométrie annuelle	TN Smart	2023 2024	Déterminer la réponse hydrologique	https://beta-tnsmart.rimes.int/index.php/Rainfall/daily_data
Pluviométrie moyenne	CHIRPS	1995- 2014	Déterminer les volumes entrants moyens	https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps
Occupation du sol	ESA, Sentinel-1 et Sentinel 2	2021	Évaluer l'occupation des sols et leur impact sur réponses hydrologiques	https://esa-worldcover.org/en

Figure 6 : Tableau récapitulatif des données utilisées

La recherche de données a constitué une étape exigeante, différente de mes expériences universitaires précédentes où les jeux de données étaient déjà fournis et prêts à l'emploi. Cette démarche m'a permis de développer de nouvelles compétences en identification, sélection et traitement de données brutes, et d'acquérir une plus grande autonomie. Elle représente une expérience formatrice qui me servira pour gagner encore en efficacité dans mes futurs travaux.

Phase introductive : revue de littérature

Le début du stage a été consacré à l'appropriation de l'environnement, des enjeux et des attendus du stage.

Histoire, fonction et enjeux des réservoirs dans le contexte agricole

Le Tamil Nadu présente un climat tropical sec selon la classification de Köppen. Il se caractérise par l'alternance d'épisodes de sécheresse et de fortes pluies concentrées pendant la mousson. Les températures varient de 21 °C à 37 °C et les précipitations mensuelles vont de 5 mm en mars à 420 mm en novembre. L'essentiel des pluies provient des dépressions et cyclones tropicaux de la baie du Bengale, entraînant une grande variabilité interannuelle : à Pondichéry, par exemple, les précipitations sont passées de 2 600 mm en 1943 à seulement 620 mm en 1952. Face à ce climat contrasté, la population a développé des dispositifs adaptés : les réservoirs à ciel ouvert (Blasco & Legris, 1973) (Verdelli, Maliet, & Chollet).

Les réservoirs (ou *water tanks*) sont des systèmes locaux et décentralisés de collecte de l'eau. De petites digues en terre, construites par les habitants, retiennent les eaux de ruissellement durant la mousson afin d'assurer l'irrigation le reste de l'année. Leur rôle dépasse l'agriculture car ils remplissent aussi des fonctions écologiques, économiques et socio-culturelles (Figure 7).

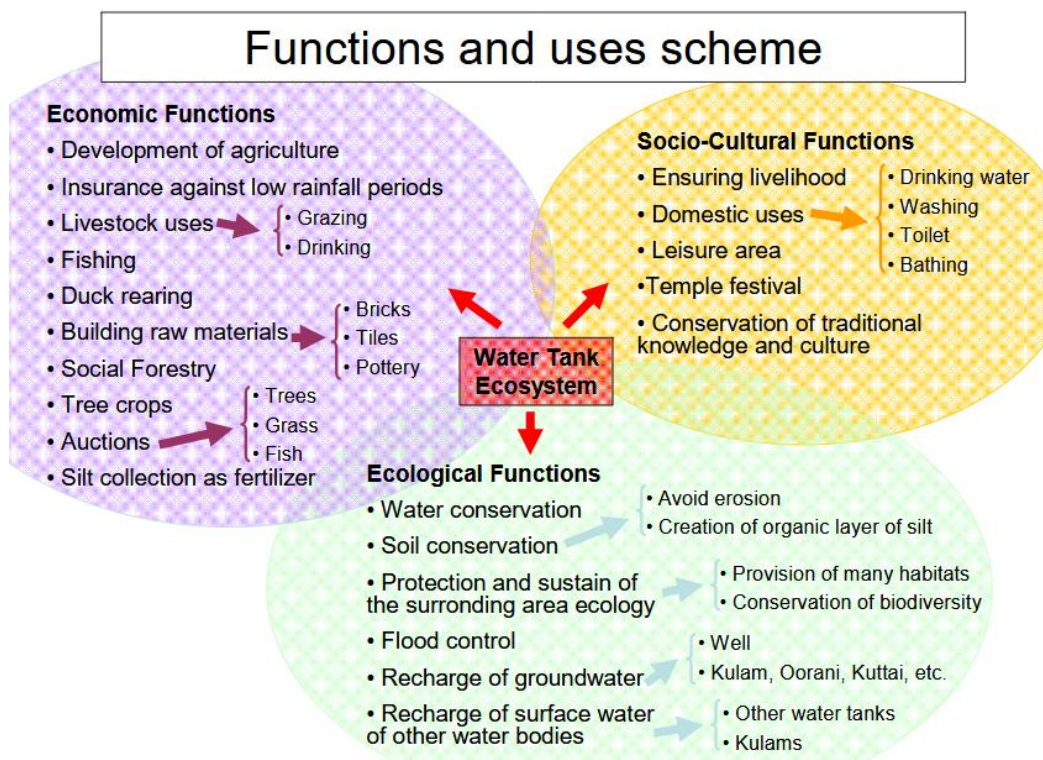


Figure 7 : Fonctions et usages des réservoirs (Ariza, Galan, & Serrano, 2007)

Dans le sud de l'Inde, les réservoirs ont une longue histoire et constituent depuis des siècles une source essentielle d'irrigation. Présents dans chaque village du Tamil Nadu, ils étaient gérés comme des biens communs : chaque villageois bénéficiait de leur eau et participait à leur entretien. Ce système, crucial pour de nombreux petits agriculteurs, a toutefois décliné au fil du temps (Palanisami, 2006) (Durand, 2017). En effet sous la colonisation britannique, la gestion des réservoirs a été centralisée, réduisant l'implication des communautés locales et leur entretien. Plus tard, la Révolution Verte des années 1970 a renforcé cette tendance : les politiques agricoles ont favorisé le pompage des eaux souterraines (subventions à l'électricité, forages, barrages), reléguant les réservoirs au second plan. Cette évolution a entraîné l'accaparement des réservoirs, c'est-à-dire toute action diminuant leur capacité de stockage ou leur alimentation, bien que cette pratique soit interdite (Durand, 2017). Aujourd'hui, la surexploitation des nappes souterraines provoque l'assèchement des puits et des coupures d'électricité liées au pompage à grande profondeur (Pascale, 2022).

Dans ce contexte, la réhabilitation des réservoirs apparaît essentielle pour restaurer leur fonction première : stocker l'eau destinée à l'agriculture. Elle pourrait contribuer à limiter la pression sur les nappes phréatiques surexploitées et favoriser une gestion plus durable des ressources en eau.

Télédétection

L'identification des réservoirs peut se faire grâce à la télédétection, une technique qui, par l'acquisition le traitement et l'interprétation d'images satellites, permet d'obtenir des renseignements sur la surface terrestre sans contact direct avec celle-ci. Les images brutes sont obtenues en utilisant l'énergie acquise par des capteurs montés sur des drones, des avions ou des satellites. La télédétection met en œuvre des procédés informatiques pour transformer l'image en données géolocalisées, notamment en couches exploitables dans les systèmes d'information géographique. Cette technique est essentielle pour mesurer et gérer les ressources et infrastructures. Elle permet également de surveiller l'utilisation des terres et les effets du changements climatiques (Géoconfluences, 2025) (Gouvernement du Canada, 2025).

Comportement hydrologique

L'analyse comportement hydrologique est essentielle pour connaître la disponibilité de l'eau et comprendre les dynamiques propres à chaque réservoir.

Réponse hydrologique

La réponse hydrologique correspond au délai de réaction entre une pluie et le remplissage effectif du réservoir, c'est-à-dire le temps que va mettre l'eau à ruisseler dans le bassin versant jusqu'à atteindre le plan d'eau. Pour cela, deux séries temporelles (l'évolution des surfaces en eau issues de la télédétection et les précipitation) sont comparées au moyen d'une analyse de corrélation de Pearson, en testant différents décalages temporels.

Evolution des surfaces en eau

L'évolution des surfaces en eau dans le temps a été réalisée grâce à la télédétection. Le procédé présenté en Figure 8 a été établi grâce à des lectures et des tests et se décompose en trois parties principales : la préparation des données, le traitement des données et la validation des résultats.

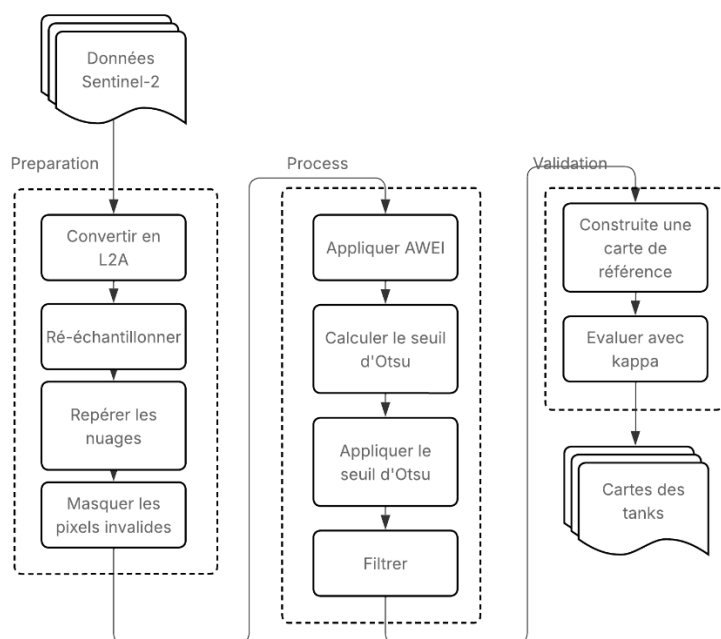


Figure 8 : Procédé de cartographie des réservoirs

Préparation des données

Les satellites Sentinel-2 produisent des images avec une technique optique, c'est-à-dire que le capteur ne capte que l'énergie émise par le Soleil. Cette technique pose deux limites : aucune image ne peut être réalisée de nuit et les ondes sont bloquées par les nuages. Dans cette optique, l'objectif principal de la préparation des données est de nettoyer les images des nuages et de leurs ombres.

Pour cela, on commence par convertir l'image du format L1C au format L2A, qui permet de corriger des déformations géométriques et atmosphériques engendrées par la hauteur à laquelle sont prises les images (Figure 9).



Figure 9 : Conversion de L1C en L2A

Les nuages et leurs ombres sont sélectionnés grâce à des filtres et la valeur Not a Number (NaN) leur est attribuée (Figure 10). De cette façon, les analyses suivantes sont effectuées sans prendre en compte les surfaces nuageuses. Ce masque ne permet cependant pas de voir ce qui se trouve réellement sous les nuages, c'est comme s'il y avait un trou dans l'image.

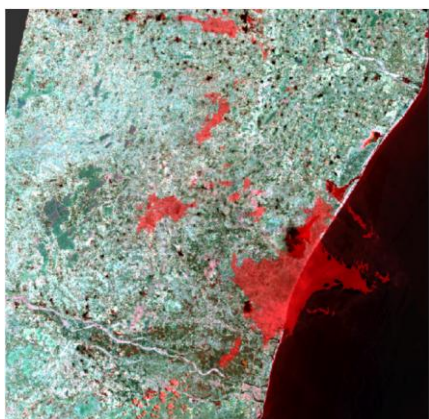


Figure 10 : Filtrage des nuages

Traitement des données

Afin de faire ressortir les surfaces en eau par rapport au reste du paysage, j'ai essayé d'appliquer plusieurs indices aux images. Ces indices sont calculés à partir des différentes bandes contenues dans chaque image. En effet, chaque image est constituée de treize bandes (Figure 11), chacune représentant l'intensité énergétique reçue pour différente longueur d'onde. Par exemple, un arbre renverra une forte intensité dans la bande verte B03 et très peu dans les autres.

Bande	Couleur	Longueur d'onde (nm)	Résolution spatiale (m)
B01	Bleu profond	443	60
B02	Bleu	490	10
B03	Vert	560	10
B04	Rouge	663	10
B05	Rouge profond	705	20
B06	Rouge profond	740	20
B07	Rouge profond	783	20
B08	Proche Infrarouge	842	10
B08A	Proche Infrarouge	865	20
B09	Proche Infrarouge	945	60
B10	Infrarouge court	1375	60
B11	Infrarouge court	1610	20
B12	Infrarouge court	2190	20

Figure 11 : Spécification des bandes Sentinel-2 (Sur, Kumar, & Pateriya, 2021)

Dans le cas de la recherche des surfaces en eau, on sait en outre que plus la teneur en eau est importante, plus la réflectance dans les infrarouges moyens diminue (Corgne, 2025) et on cherche donc un indice qui ferait ressortir le plus possible les surfaces en eau. Des tests ont été effectués sur trois types d'indices :

Le MNDWI (*indice d'eau par différence normalisée* ou *Modified Normalised Difference Water Index*) (McFeeters, 1996) (EOS Data Analytics, 2024).

$$(1) \text{ MNDWI} = \frac{\text{Vert} - \text{Infrarouge Court}}{\text{Vert} + \text{Infrarouge Court}}$$

L'AWEI (*Indice d'Extraction de l'Eau Automatisé* ou *Automated Water Extraction Index*) (Feyisa, Meilby, Fensholt, & Proud, 2014).

$$(2) \text{ AWEI}_{nsh} = 4 * (\text{Vert} - \text{IR court}) - (0,25 * \text{IR proche} - 2,75 * \text{IR court})$$

$$(3) \text{ AWEI}_{sh} = \text{Bleu} + 2,5 * \text{Vert} - 1,5 * (\text{IR proche} + \text{IR court}) - 0,25 * \text{IR court}$$

Le MNDWI (1) est l'indice le plus couramment utilisé. Le AWEI, plus rare se décline en deux versions : l'équation (2) est faite pour les environnements urbains, là où les surfaces des toits sont nombreuses alors que l'équation (3) est particulièrement adaptée aux zones avec des ombres et des surfaces sombres (Feyisa, Meilby, Fensholt, & Proud, 2014).

Chacun de ces trois indices fait ressortir certains éléments spécifiques (Figure 12) mais c'est finalement le AWEI_{sh} (3) qui a été retenu pour ses résultats de validation nettement meilleurs.



Figure 12 : Comparaison entre le filtre MNDWI et le filtre AWEIsh

Une fois l'indice appliqué, on obtient une image en noir et blanc où chaque pixel a sa propre valeur : un pixel blanc dont la valeur est élevée représente une surface en eau. Sur la Figure 13, ces pixels d'eau font parties de la série de droite alors que ceux représentant l'arrière-plan et donc de la non-eau sont dans la série de gauche.

Cette répartition bimodale des valeurs témoigne d'un indice de recherche des surfaces en eau pertinent. En effet il est facile de distinguer les deux classes à l'aide de la méthode Otsu. Cette méthode a pour objectif de séparer les pixels de l'image en deux classes : ceux représentant une surface d'eau et le ceux représentant autre chose afin d'extraire les réservoirs de l'arrière-plan (Sur, Kumar, & Pateriya, 2021) (Yang, et al., 2020).

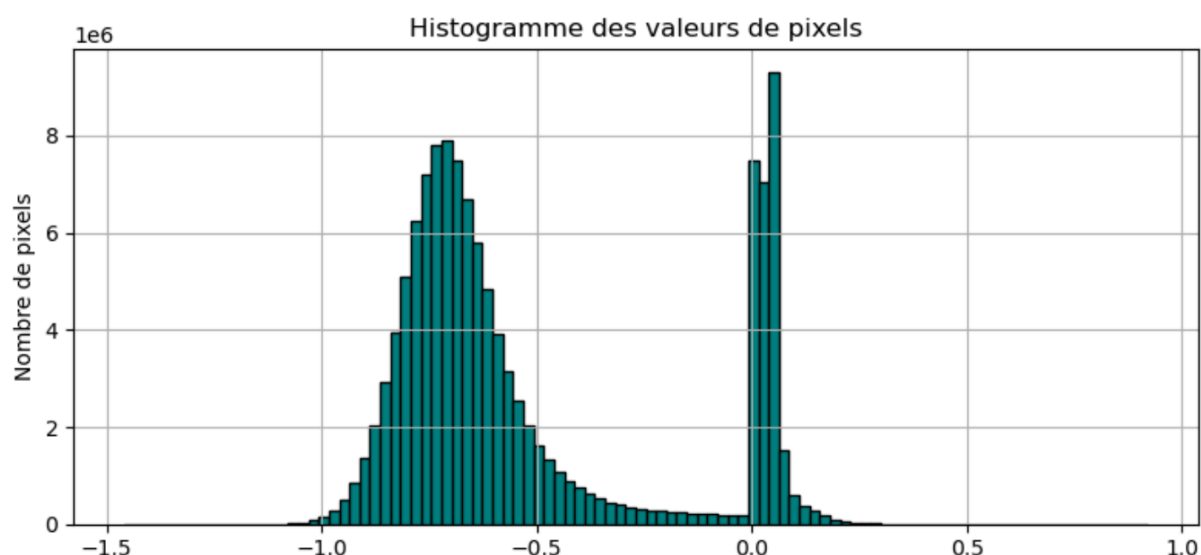


Figure 13 : Répartition bimodale des pixels pour l'indice AWEIsh

Une fois le seuil déterminé et appliqué, l'image devient binaire avec l'eau en blanc et la non-eau en noir, sans nuance de gris (Figure 14).

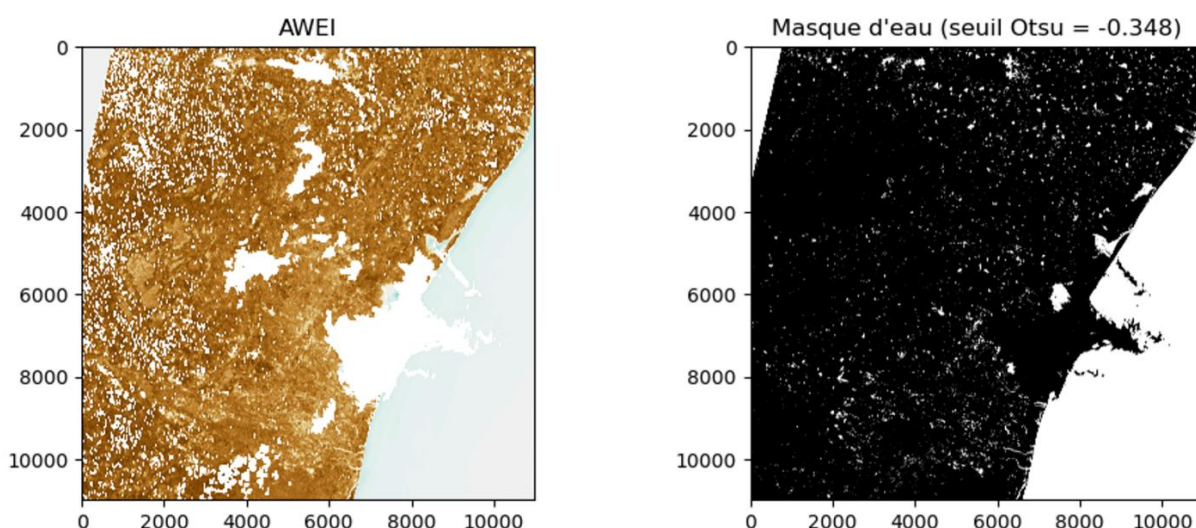


Figure 14 : Application du seuil d'Otsu

Validation

Pour valider les résultats obtenus et de vérifier que les zones déterminées comme surfaces en eau en soient bien réellement, une carte de référence est créée en détournant à la main 500 polygones d'eau et 500 de non-eau. Le kappa de Cohen (κ) mesure la congruence entre nos observations manuelles et celle du processus en tenant compte du facteur chance.

Si les deux observations sont totalement en accord, $\kappa = 1$. Si elles sont totalement en désaccord (ou en accord dû uniquement au hasard), $\kappa \leq 0$. Dans notre cas, $\kappa = 0.88$, un résultat montrant un accord presque parfait (Landis & Koch, 1977).

Résultats

En zoomant sur les réservoirs Osudu et Kanagan, l'analyse temporelle des surfaces en eau des réservoirs permet de visualiser leur comportement hydrologique au fil de l'année. La Figure 15 illustre, à travers un extrait entre août et novembre d'une série d'images Sentinel-2, l'évolution mensuelle de la surface en eau pour les réservoirs d'Osudu et de Kanagan en 2024. Elle permet d'apprécier

visuellement les dynamiques de remplissage et de comparer les comportements respectifs de ces deux réservoirs, aux dynamiques contrastés.

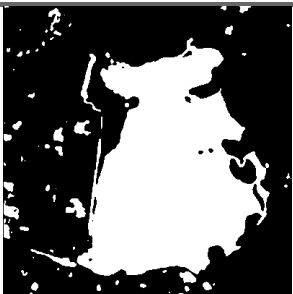
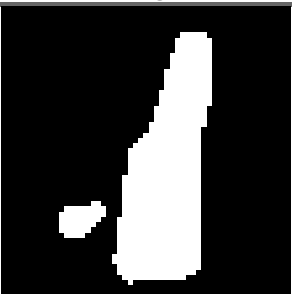
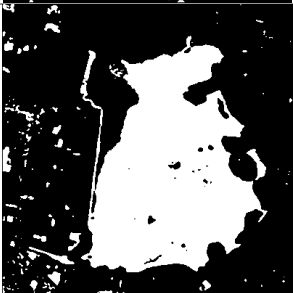
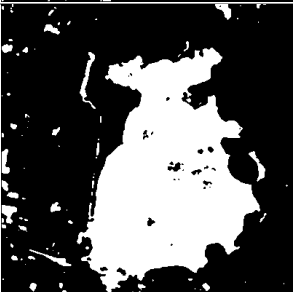
Mois	Osudu	Surface (km ²)	Kanagan	Surface (km ²)
Aout		5,78		0,62
Septembre		5,32		0,84
Octobre		5,58		0,75
Novembre		5,12		0,62

Figure 15 : Extrait de l'évolution de la surface des réservoirs Osudu et Kanagan

Le processus de télédétection ayant mené à ces résultats présente l'avantage de pouvoir être en grande partie automatisé et complètement reproductible. Ce travail a particulièrement été apprécié par mes collègues du département géomatique qui travaillent sur le repérage automatisé d'élément du paysage grâce à l'intelligence artificielle. Cette méthode validée pourrait donc aussi permettre d'entraîner les ordinateurs.

Précipitations

A présent que les surface en eau d'Osudu et Kanagan sont connues pour l'année 2024, je cherche à obtenir les précipitations afin de pouvoir les comparer. Il est important d'obtenir les données locales les plus représentatives possible de chacun des deux réservoirs. Pour cela, l'ensemble des stations météorologiques proches de la zone d'étude ont été réévaluées et la station la plus caractéristique (Figure 16) est identifiée grâce aux polygones de Thiessen (Géoconfluences, 2022) (Peters, 2024).

Couverture spatiale des stations pluviométriques autour des bassins versants d'Osudu et Kanagan

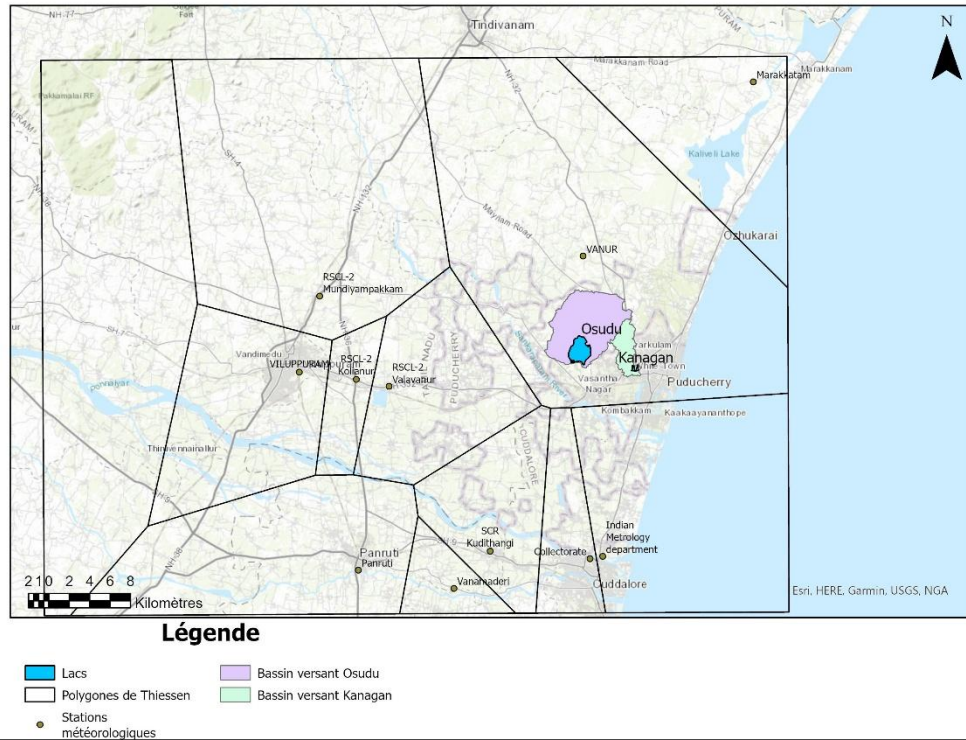


Figure 16 : Carte de la couverture spatiale des stations pluviométriques autour des bassins versants autour d'Osudu et Kanagan

La station VANUR représente donc le plus fidèlement les précipitations des réservoirs. Les données pluviométriques journalières sont extraites pour les années 2023 et 2024 depuis le site internet TN-SMART de façon automatisée grâce à un script python. Ce script permet d'automatiser la collecte des données en cherchant la station VANUR et la donnée pluviométrique associée pour chaque jour de l'année choisie et de les compiler dans un tableau Excel.

Finalement, les précipitations extraites (Figure 17) présentent une saisonnalité marquée : la distribution montre deux pics de précipitations, l'un en fin d'année 2023, particulièrement en octobre et novembre et un second épisode significatif au second semestre 2024, notamment en août et décembre. À l'inverse, la première moitié de 2024 (janvier à mai) se caractérise par une sécheresse quasi totale. Cette répartition reflète les deux principales moussons affectant la région : la mousson du Sud-Ouest (mai à septembre), faiblement marquée en 2024, et la mousson du Nord-Est (octobre à décembre), plus intense. La phase sèche en début 2024 coïncide avec une période de faible recharge des réservoirs et permet de mettre en évidence la forte dépendance des réservoirs aux événements pluviométriques concentrés dans le temps.

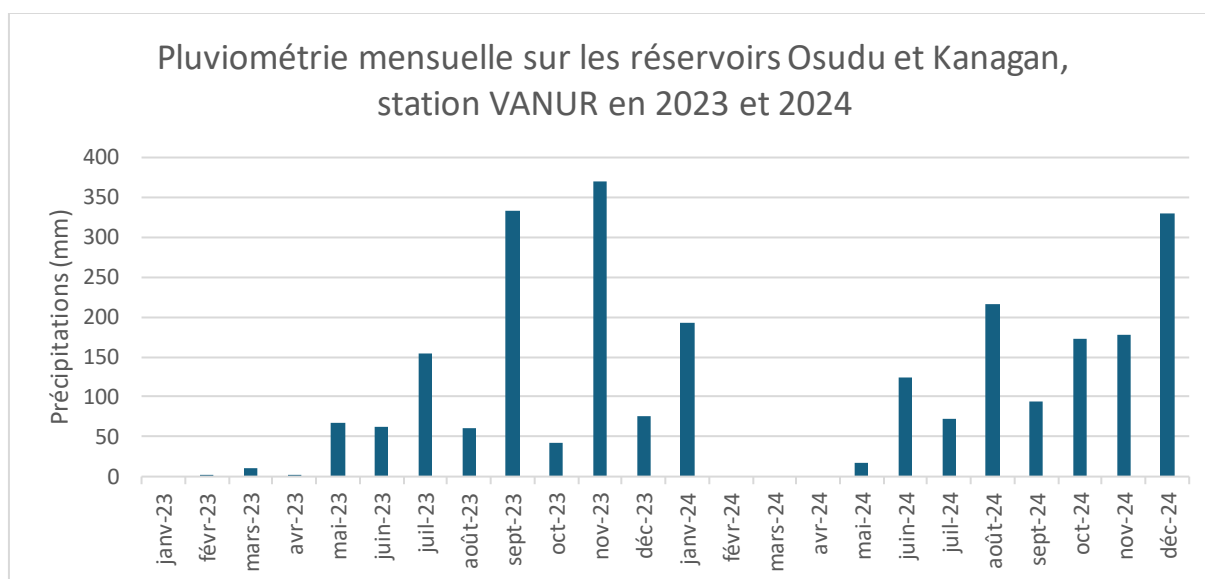


Figure 17 : Pluviométrie sur les réservoirs Osudu et Kanagan en 2023 et 2024 ; Station VANUR ; Données TN-Smart

Afin de vérifier que VANUR ne présente pas d'anomalie systématique qui fausserait les données, on effectue un test de Kruskal-Wallis, réalisé entre les données de VANUR et celles de ses voisines immédiates (RSCL-2 Valavanur, Marakkanam, RSCL-2 Mundiampakkam et Indian Metrology Department). Ce test permet de tester si les précipitations enregistrées à VANUR sont cohérentes avec celles environnantes. L'hypothèse nulle postulant l'appartenance des échantillons à une même population ne doit pas être rejetée ; cela garantirait que les différences observées relèvent de la variabilité naturelle des précipitations et non d'un biais systématique (Serrihni, 2024). Ici, le test met en avant une p-valeur de 0,300, supérieure à 0,05, ce qui signifie que les échantillons proviennent de la même population. Cela revient à dire qu'aucune différence significative n'est détectée entre les différentes stations et que la station VANUR est cohérente avec ses voisines.

Des réponses hydrologiques différenciées

Finalement, l'analyse de corrélation de Pearson permet d'évaluer la relation entre les surfaces et les pluies en fonction du temps. Cette analyse appliquée sur différents décalages temporels permet de connaître le délai entre la tombée de la pluie et le remplissage effectif du réservoir, affectant les volumes disponibles. Les comparaisons des séries temporelles sont faites avec un décalage allant jusqu'à quatre mois (Figure 18) et les corrélations entre précipitation et surface en eau des deux réservoirs témoignent d'une dynamique différenciée. Pour Osudu, la corrélation maximale ($r = 0,58$) est atteinte avec un décalage de deux mois alors que pour Kanagan ($r = 0,59$) elle est atteinte sans décalage, c'est-à-dire avec les précipitations du mois courant.

	M0	M+1	M+2	M+3	M+4
OSUDU	0,44	-0,01	0,58	0,46	0,44
KANAGAN	0,59	0,47	0,08	-0,54	-0,57

Figure 18 : Résultats du coefficient de corrélation de Pearson entre la pluie et la surface des réservoirs

Osudu, dont le bassin versant couvre 38,5 km², est situé dans un environnement à dominante agricole et forestière. Le décalage temporel observé suggère un temps de concentration plus long, probablement lié à la taille du bassin, à la présence de sols plus perméables et à une couverture végétale dense, qui ralentissent le ruissellement et favorisent l'infiltration et le stockage dans les sols. À l'inverse, Kanagan, avec son bassin versant de 8,4 km² en zone péri-urbaine, réagit plus rapidement aux précipitations, ce qui peut être dû à une imperméabilisation plus forte, une surface moindre, et un drainage plus direct des eaux vers le réservoir.

Volumes entrants

L'analyse du volume d'eau entrant dans les réservoirs a pour objectif d'évaluer leur contribution potentielle à l'irrigation agricole. L'approche (Figure 19) repose sur la modélisation du ruissellement et sur la pluviométrie à l'échelle des bassins versants alimentant les réservoirs.

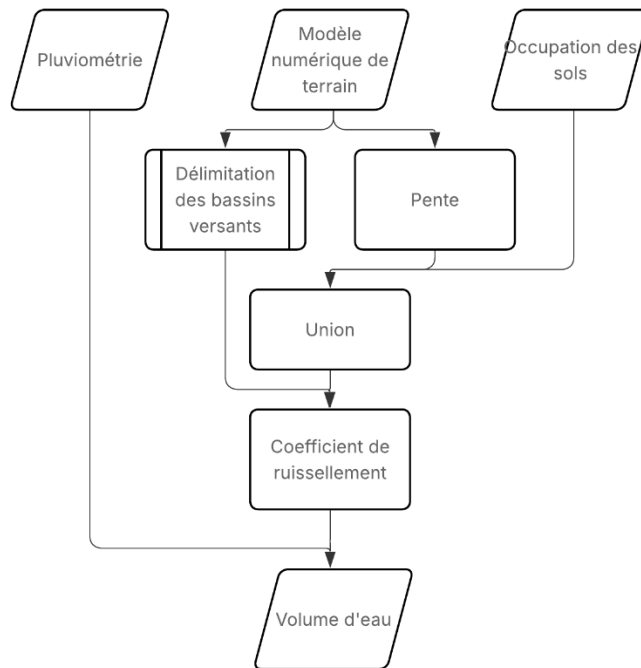


Figure 19 : Processus de modélisation des volumes d'eau entrants

L'évapotranspiration, l'infiltration profonde et les pertes par fuite n'ont pas été intégrées dans l'estimation du volume d'eau faute de données exploitables.

Bassins versants

Un bassin versant désigne une zone géographique dans laquelle tous les écoulements, en surface ou en profondeur, se dirigent vers le même exutoire (Géoconfluences, 2023). Ceux-ci sont délimités à l'aide du modèle numérique de terrain avec un traitement SIG comme détaillé en Figure 20 (Peters, 2024)



Figure 20 : Processus de délimitation de bassin versant

Les bassins versants des réservoirs Osudu et Kanagan représentés sur la Figure 21 font respectivement 38,5 km² et 8,4 km².

Bassins versants des réservoirs Osudu et Kanagan

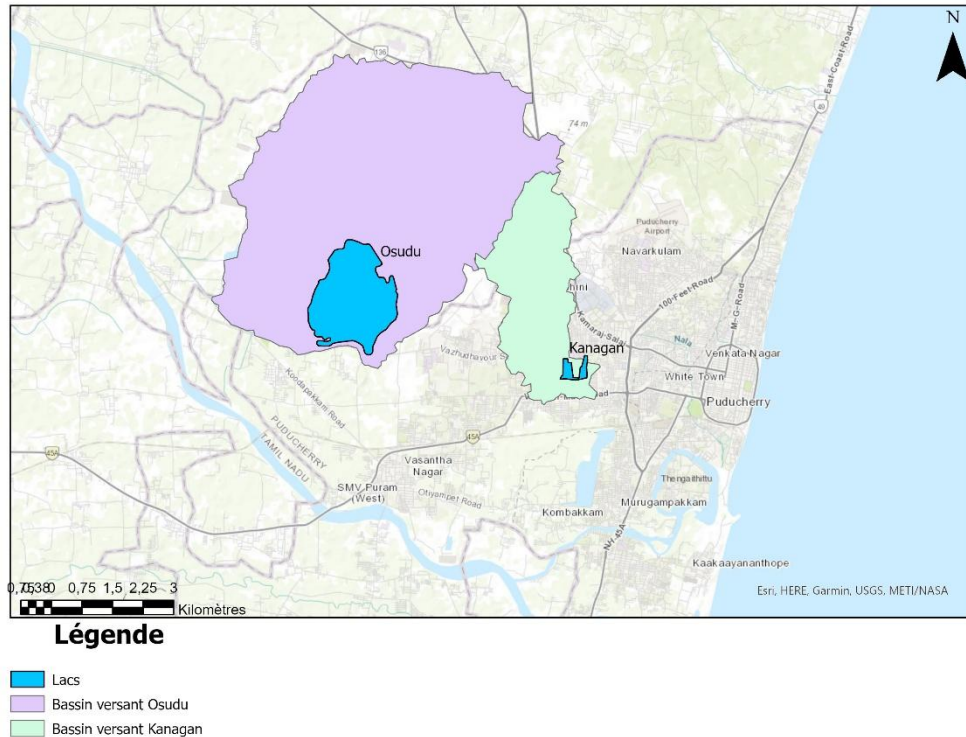


Figure 21 : Bassins versants des réservoirs Osudu et Kanagan

Données pluviométriques moyennes

Utiliser les données moyennes pluriannuelles comme les CHIRPS entre 1995 et 2014 plutôt que des données issues d'une seule année permet de lisser les variations interannuelles liées à des événements climatiques exceptionnels ou à des irrégularités ponctuelles et d'obtenir des volumes plus représentatifs. Tout comme les données TN-SMART, elles présentent une saisonnalité marquée avec comme témoignage des deux moussons, les importantes quantités d'eau tombées en août, octobre et novembre. La période janvier-mai reste sèche avec moins de 50 millimètres de pluie (Figure 22).

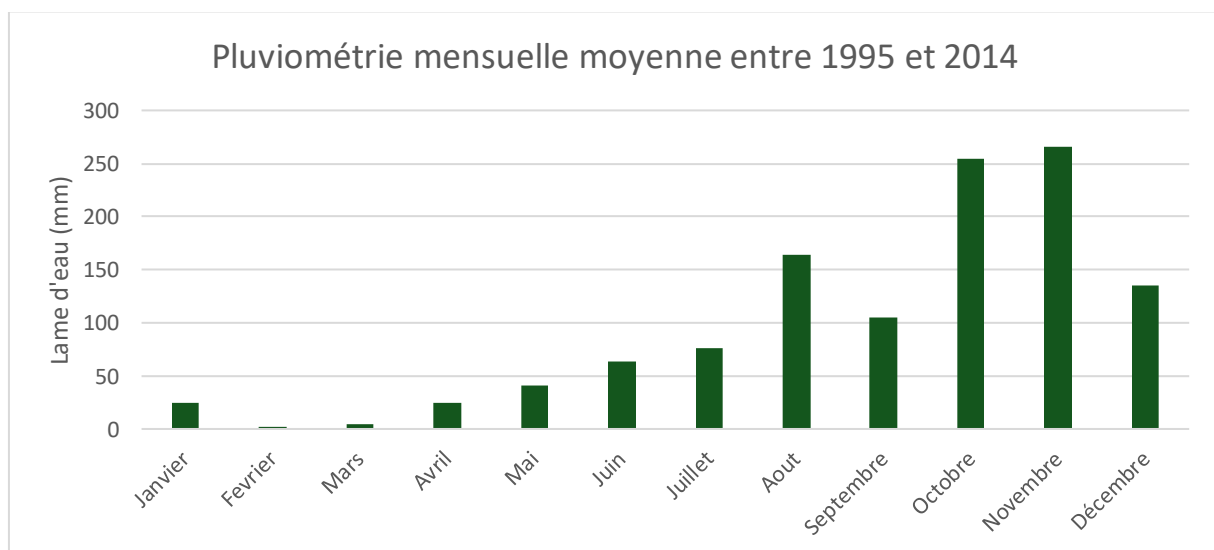


Figure 22 : Pluviométrie mensuelle moyenne entre 1995 et 2014, Données CHIRPS

Coefficient de ruissellement

Les coefficients de ruissellement (Figure 23) ont été approximés à partir de la littérature existante, faute de données pédologiques locales exploitables. Pour avoir des valeurs réellement représentatives, des mesures de terrain seraient nécessaires.

		Pente (%)		
		<5	5 – 15	>15
Occupation du sol	Arbres	0,02	0,07	0,15
	Arbustes et broussailles	0,10	0,20	0,40
	Herbacées	0,10	0,25	0,50
	Terres cultivées	0,045	0,13	0,29
	Zone artificialisée	0,90	0,90	0,90
	Sols nus / peu végétalisés	0,20	0,25	0,45
	Eaux	0	0	0
	Zones humides	0,05	0,05	0,05

Figure 23 : Coefficient de ruissellement en fonction du type de sol et de la pente (Chow & Maidment, 1988) (Viessmen & Lewis, 2003) (United States Department of Agriculture, 1986) (Zhai, Hou, Zhang, & Chen, 2023) (Susilawati, 2016) (Yanti, 2018) (Landemaine, 2023)

L'occupation des sols (Figure 24) et la pente issue du modèle numérique de terrain sur les bassins versants permettent de déterminer les coefficients de ruissellement d'Osudu et Kanagan, soit respectivement 0,249 et 0,303. Ces résultats sont cohérents avec l'occupation du sol : le bassin versant Osudu se situe dans une zone agricole et forestière, des sols qui retiennent mieux l'eau que les surfaces artificialisées très présentes autour de Kanagan.

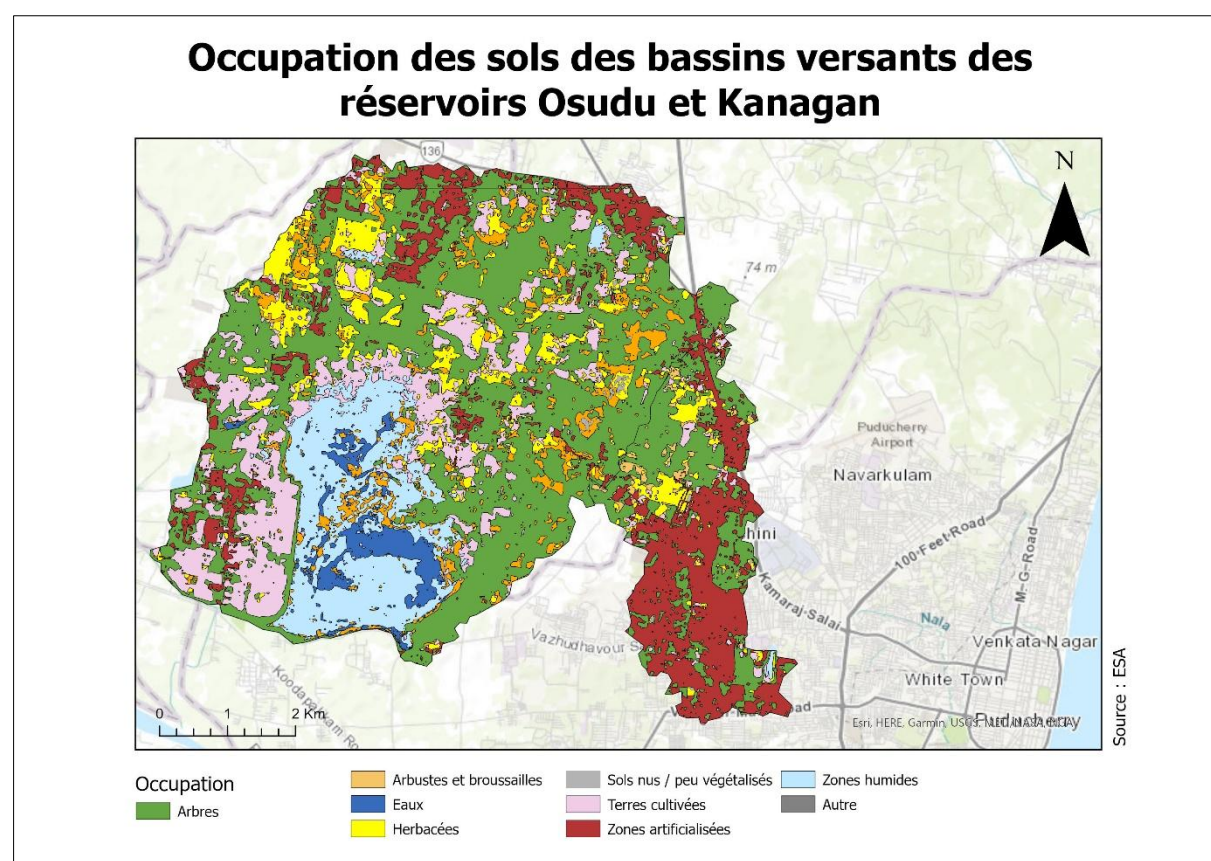


Figure 24 : Occupation des sols des bassins versants des réservoirs Osudu et Kanagan

Ainsi on obtient pour le volume brut entrant :

$$\text{Volume brut entrant} = \text{Surface} \times \text{Hauteur de pluie} \times \text{Coefficient de ruissellement}$$

Finalement, les volumes totaux pour Osudu et Kanagan sur l'année 2024 sont respectivement de 11,13 et 2,96 millions de mètres cubes. En prenant en compte les réponses hydrologiques (instantanée pour Kanagan et deux mois pour Osudu), les volumes entrants dans le lac sont répartis comme sur la Figure 25.

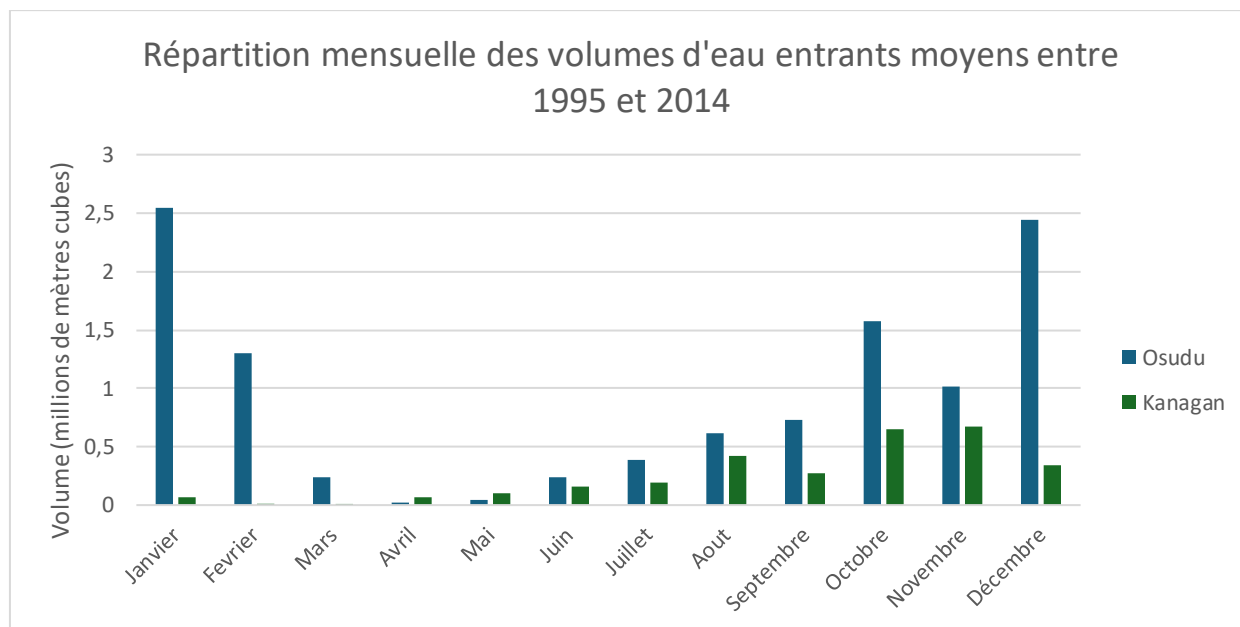


Figure 25 : Répartition mensuelle des volumes d'eau entrants moyens

Besoins en eau

L'estimation des besoins en eau passe par l'identification des besoins et usages agricoles. Pour cela, j'ai délimité un périmètre d'un kilomètre autour du réservoir Osudu que j'ai découpé en une grille de 500 mètres par 500 mètres comme sur la Figure 26. Sur le terrain, chaque cellule est visitée individuellement et les types de culture dominant et secondaire sont relevés. Les coordonnées GPS des centres de chaque cellule sont utilisées pour faciliter le repérage lors des déplacements.

Le repérage des cultures s'est centré sur Osudu puisqu'aucune culture n'a été observée autour du réservoir Kanagan. Cette situation peut s'expliquer par deux facteurs. D'une part, le réservoir est aujourd'hui enclavé dans une zone fortement urbanisée, ce qui limite l'espace disponible pour l'agriculture. D'autre part, comme ce réservoir est saisonnier, il ne conserve l'eau qu'une partie de l'année, ce qui le rend peu adapté à l'irrigation pendant la saison sèche. Ainsi, sa fonction agricole semble avoir été progressivement abandonnée, peut-être au profit de fonctions sociales ou écologiques. Cette absence de fonction économique agricole contraste fortement avec la situation d'Osudu qui présente une forte activité agricole dans sa périphérie, comme constaté sur le terrain.

Points de relevé terrain autour du réservoir Osudu

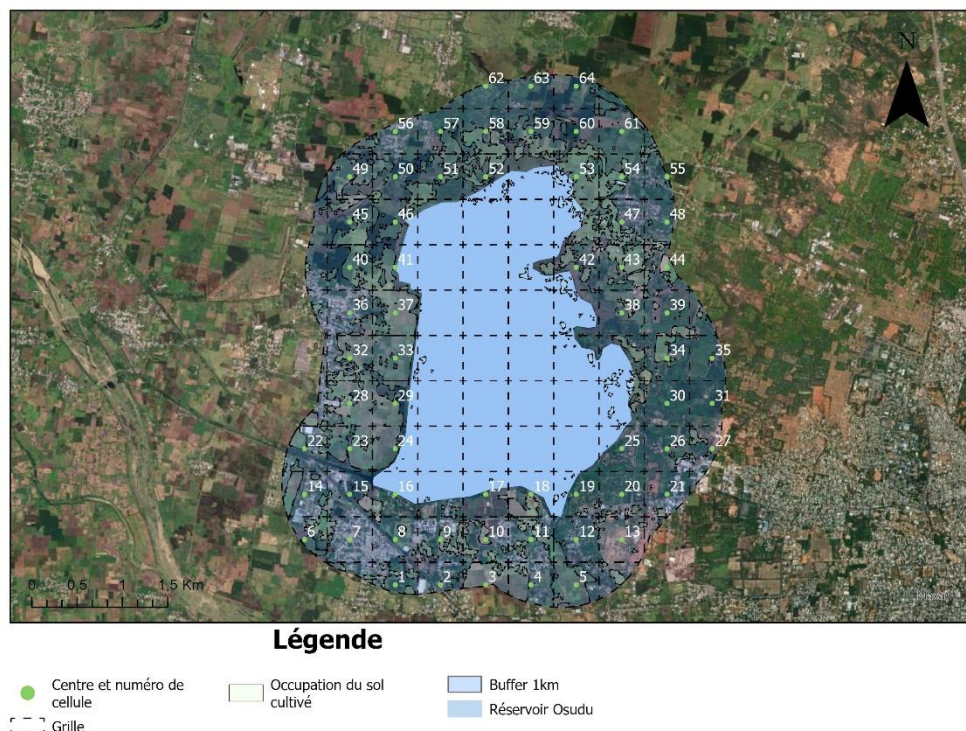


Figure 26 : Points de relevés terrain du réservoir Osudu

Mes observations autour du réservoir d'Osudu m'ont permis d'établir le résumé de relevé de terrain (Figure 27), qui montre un équilibre presque parfait entre les cultures nourricières (51 %) et non nourricières (49 %), réparties sur une surface totale de 453,3 hectares. Parmi les cultures nourricières, le millet (18,5 %) et le riz (16,3 %) dominent, suivis par la noix de coco (12,3 %) et la banane (4,1 %). Les superficies notables dédiées au millet et au riz révèlent l'importance des céréales dans les systèmes de culture locaux, tant pour l'alimentation que pour leur adaptation aux cycles de précipitation. Alors que le millet est plutôt bien adapté au climat sec de l'Inde du sud, le riz pose la question de la pertinence des cultures inondées dans des zones où la disponibilité de l'eau reste parfois incertaine.

Les cultures non nourricières sont majoritairement représentées par le filao, qui couvre à lui seul 46,3 % de la zone étudiée, tandis que la canne à sucre, l'acacia et le teck occupent des superficies bien plus restreintes.

	Type de culture	Surface (ha)	Part (%)
Culture nourricière	Millet	83,8	18,5
	Riz	73,7	16,3
	Banane	18,49	4,1
	Noix de coco	55,9	12,3
	Total	231,39	51
Culture non nourricière	Canne à sucre	2,70	0,6
	Filao	209,81	46,3
	Acacia	3,4	0,8

	Teck	5,6	1,2
	Total	221,51	49
	TOTAL	453,3	100

Figure 27 : Surfaces et parts des cultures à Osudu

J'ai choisi d'exclure les cultures non nourricières telles que la canne à sucre, le filao, l'acacia et le teck ne sont pas prises en compte dans l'évaluation des besoins en irrigation car d'une part, l'analyse se concentre exclusivement sur la capacité des réservoirs à soutenir la production alimentaire locale et d'autre part, ces espèces arborées ou industrielles sont majoritairement reconnues pour leur résistance à la sécheresse et leur faible dépendance à l'irrigation, notamment dans les contextes tropicaux.

Les données présentées en Figure 28 sont issues de la littérature existante et permettent de mettre en relief les surfaces cultivées précédentes pour leur donner des échelles plus palpables.

Type de culture	Besoin en eau par cycle (mm)	Nombre de cycles dans l'année	Périodes d'irrigation		Source
			1 ^{er} cycle	2 ^{ème} cycle	
Noix de coco	1000	-	Toute l'année	-	(Kerala Agricultural University, 2019)
Banane	1200	-	Toute l'année	-	(Tamil Nadu Agricultural University, 2025) (Inayatali & Suryanarayana, 2016)
Millet	250	2	Juin Aout	Octobre Décembre	(Tamil Nadu Agricultural University, 2025) (Sivasakthi & Devi, 2023)
Riz	1500	2	Juin Juillet Aout	Novembre Décembre Janvier	(Government of Tamil Nadu, State Planning Commission, 2023)

Figure 28 : Besoins hydriques, fréquence annuelle et périodes d'irrigation des cultures

L'analyse croisée entre la disponibilité mensuelle de l'eau dans le réservoir Osudu et les besoins hydriques des cultures (Figure 29) révèle une capacité notable du réservoir à soutenir l'agriculture locale actuelle (dans le kilomètre environnant le réservoir). Les volumes d'eau entrants cumulés s'élèvent à 11,13 millions de mètres cubes, largement supérieurs aux besoins en irrigation des cultures nourricières identifiées (millet, riz, banane et cocotier), estimés à environ 2,38 millions de mètres cubes.

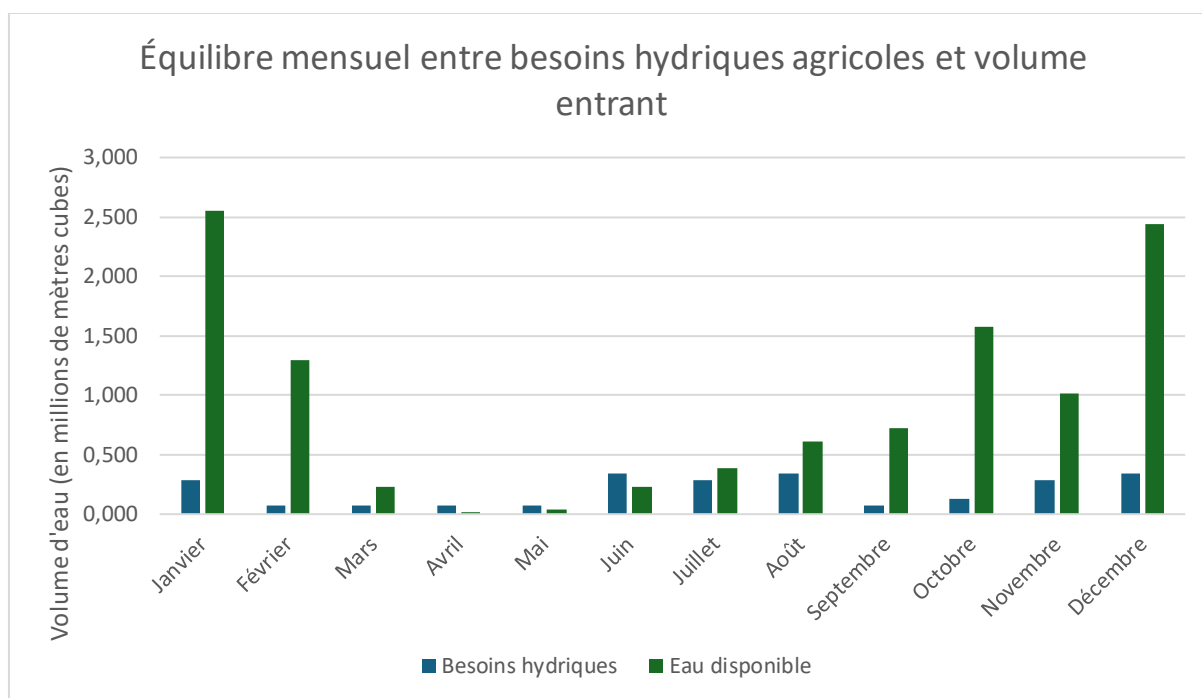


Figure 29 : Équilibre mensuel entre besoins hydriques agricoles et volume entrant

Type de culture	Rendement (t/ha)	Besoins moyens (t/pers/an)	Masse produite (t)	Equivalent population nourrie
Noix de coco	10,9	0,00616	608	90 686
Banane	37,98	0,01929	702	36 408
Petit Millet	1	0,00738	84	1 150
Riz	3,29	0,09898	243	2 451

Figure 30 : Rendements agricoles et besoins par personne (Directorate of Economics and Statistics, 2024) (Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2022)

L'étude des cultures autour du réservoir Osudu montre que ce dernier continue de jouer un rôle central dans le fonctionnement agro-hydrologique local. Malgré la pression foncière et les transformations socio-économiques, les cultures irriguées nourricières, en particulier les céréales, restent bien représentées. Le réservoir permet de maintenir une activité agricole même pendant la saison sèche, grâce à sa capacité de stockage et à son inertie hydrologique.

La capacité du réservoir à couvrir les besoins en irrigation, associée à une production potentielle significative, conforte l'idée que ces infrastructures anciennes, si elles sont entretenues et intégrées dans les politiques locales, peuvent contribuer à une agriculture locale à long terme.

Conclusion

Ce travail a permis de démontrer que les réservoirs à ciel ouvert du Tamil Nadu, et en particulier celui d'Osudu, conservent une pertinence forte pour répondre aux enjeux agricoles contemporains. Grâce à son vaste bassin versant, à ses volumes entrants conséquents et à son inertie hydrique, le réservoir Osudu montre une capacité avérée à répondre aux besoins en irrigation, y compris durant la saison sèche. À l'inverse, Kanagan, plus urbain et saisonnier, illustre les limites d'un système déconnecté des pratiques agricoles. Ces résultats soulignent également la valeur ajoutée des approches croisées mobilisant outils numériques, données ouvertes et observations de terrain, pour mieux comprendre les dynamiques agro-hydrologiques locales. Ils mettent en évidence l'importance de réintégrer les réservoirs dans les stratégies de gestion territoriale de l'eau et montrent que les solutions traditionnelles, lorsqu'elles sont combinées avec des outils modernes, peuvent offrir une puissante réponse aux défis d'aujourd'hui.

Conclusion et retour sur expérience

Ce stage avait pour objectif d'évaluer la pertinence des réservoirs à ciel ouvert du Tamil Nadu face aux besoins agricoles actuels. La démarche adoptée s'est construite autour d'un fil conducteur clair : croiser différentes sources de données – imagerie satellitaire, données pluviométriques, modèles hydrologiques et observations de terrain – afin de comprendre la dynamique des réservoirs et leur rôle dans l'irrigation. Ce choix méthodologique a permis de comparer deux cas contrastés : Osudu, réservoir rural de grande capacité, et Kanagan, plus petit et en zone périurbaine. Les résultats montrent qu'Osudu conserve une capacité d'irrigation notable, même en saison sèche, tandis que Kanagan illustre les limites d'un système de plus en plus déconnecté des usages agricoles.

Au-delà des résultats scientifiques, ce stage m'a appris à mobiliser et à articuler des outils variés (télédétection, SIG, analyses statistiques), mais aussi à gérer les contraintes liées à la disponibilité et à la qualité des données. J'ai dû parfois simplifier mes hypothèses ou adapter mes méthodes, ce qui m'a permis de développer une posture critique vis-à-vis de mes propres résultats. L'expérience m'a également montré que la gestion de projet en recherche implique une part importante d'adaptation : les imprévus ne constituent pas un échec, mais une composante normale du processus scientifique.

Cette expérience m'a beaucoup appris sur la rigueur nécessaire à la recherche, mais aussi sur l'importance de la flexibilité et du dialogue interdisciplinaire. Elle m'a permis de mieux comprendre la place de l'ingénieure dans les dynamiques de gestion de l'eau : à l'interface entre données scientifiques, réalités de terrain et besoins opérationnels. Je retiens également que les réservoirs ne sont pas seulement des objets techniques, mais des systèmes sociaux, culturels et écologiques, ce qui impose une approche globale.

En somme, ce stage m'a donné une vision concrète des défis de la gestion de l'eau dans un contexte agricole et tropical. Il m'a permis de progresser techniquement, mais aussi de développer ma capacité à m'adapter, à structurer un projet et à formuler des résultats utiles et transférables. Ces acquis constituent une étape importante dans mon parcours, que je projette de mettre à profit dans mon futur métier, en contribuant à des projets de recherche ou d'ingénierie alliant innovation scientifique et réponse aux enjeux environnementaux actuels.

Références

- Ariza, Galan, & Serrano. (2007). *Water tanks as ecosystems : Ecosystemic perception of local population for integral management of water tanks in Tamil Nadu, South India*. Barcelone.
- Blasco, & Legris. (1973). Originalité des climats secs du sud de l'Inde. *Annales de géographie*, pp. 129-150.
- Chow, & Maidment. (1988). *Applied Hydrology*.
- CITERES. (2025, Juillet 30). *PATAMIL : Equité alimentaire et projets alimentaires de territoire – Tamil*. Retrieved from CITERES UMR 7324: <https://citeres.univ-tours.fr/contrat/patamil/>
- Corgne, S. (2025, Avril 25). Formation à la télédétection sur les images optiques Sentinel-2. Pondichéry, Inde.
- Directorate of Economics and Statistics. (2024). *Area, Production, Yield - Reports*. Retrieved from <https://data.desagri.gov.in/website/crops-apy-report-web>
- Durand. (2017). Accaparement, conflits d'usages et perspectives juridiques concernant les tanks à Pondichéry et dans le Tamil Nadu.
- EOS Data Analytics. (2024, Janvier 01). *NDWI : Indice D'eau De Différence Normalisée*. Retrieved from EOS Data Analytics: <https://eos.com/fr/make-an-analysis/ndwi/>
- Feyisa, G., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. (2014, Janvier). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, vol. 140, pp. 23-35.
- Food and Agriculture Organization of the United Nation. (2022). *Food Balances (2010-)*. Retrieved from FAO: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>
- Géoconfluences. (2022, Octobre). *Polygones de Thiessen ou de Voronoï*. Retrieved from Géoconfluences: <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/polygones-de-thiessen-ou-de-voronoï>
- Géoconfluences. (2023, Janvier). *Bassin versant*. Retrieved from Géoconfluences: <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/bassins-versants-ressource-en-eau-et-frontieres>
- Géoconfluences. (2025, Janvier 24). *Télédétection*. Retrieved from Géoconfluences: <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/teledetection>
- Gouvernement du Canada. (2025, Mars 27). *Tutoriels sur la télédétection*. Retrieved from Ressources Naturelles Canada: <https://ressources-naturelles.canada.ca/science-data/science-research/geomatics/remote-sensing/remote-sensing-software-tools>
- Government of Tamil Nadu, State Planning Commission. (2023). *Water Ressources*.
- HAL. (2025, Juillet 28). *IFP India*. Retrieved from HAL: <https://hal.science/IFPINDIA/>
- Inayatoli, & Suryanarayana. (2016). Estimation of crop water requirement and irrigation scheduling using cropwat. *HYDRO 2016*. Pune.
- Kerala Agricultural University. (2019). *Coconut*. Retrieved from KAU Agri-Infotech Portal: <https://www.celkau.in/crops/Plantation%20Crops/Coconut/watermanagement.aspx>
- Landemaine, V. (2023). *Définition de valeurs de coefficient de ruissellement pour le vignoble de Chablis*.

- Landis, & Koch. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Catégorical Data. *Biometrics*, vol. 33, pp. 159-174.
- McFeeters. (1996, Janvier 04). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, pp. 1425-1432.
- Palanisami. (2006). Sustainable Management of Tank Irrigation Systems in India. *Journal of Developments in Sustainable Agriculture*.
- Pascale. (2022). *Cartographie multi-échelle des ressources en eau sur les régions irriguées : une approche par télédétection multi-capteur*. Toulouse.
- PATAMIL. (2025, Juillet 30). *Déroulé*. Retrieved from PATAMIL: <https://patamil.centraider.org/vous-avez-dit-patamil/objectifs-et-deroule/>
- PATAMIL. (2025, Juillet 30). *Objectifs et terrains d'étude*. Retrieved from PATAMIL: <https://patamil.centraider.org/premices/>
- Peters, P. (2024). Cours "Hydrologie et hydraulique générale".
- Serrihni, K. (2024). Cours de statistiques "TD3 ANOVA". Tours.
- Sivasakthi, & Devi, S. (2023). Water management in millet cultivation in Indian scenario 1. *Sensitizing the millet farming, consumption and nutritional security - challenge and opportunities*. Karaikal.
- Sur, Kumar, & Pateriya. (2021, Septembre 14). Surface water estimation at regional scale using hybrid techniques in GEE environment-A case study on Punjab State of India. *Remote Sensing Application*.
- Susilawati, C. L. (2016, Juillet). The motion for rainwater management in household to improve water resilience in a changing world. *5th International Seminar of HATHI*. Bali.
- Tamil Nadu Agricultural University. (2025). *Crop production : Minor Millets*. Retrieved from TNAU Agritech Portal: https://agritech.tnau.ac.in/agriculture/minormillets_panivaragu.html
- Tamil Nadu Agricultural University. (2025). *Expert System for Banana*. Retrieved from TNAU Agritech Portal: https://agritech.tnau.ac.in/expert_system/banana/irrigationmanagement.html#4
- United States Department of Agriculture. (1986). *Urban Hydrology for Small Watershed*.
- Verdelli, Maliet, & Chollet. (n.d.). Le cycle urbain de l'eau à Chennai - Entre transition socio-écologique et consolidation du régime dominant.
- Viessmen, & Lewis. (2003). Introduction to Hydrology.
- Yang, X., Qin, Q., Yésou, H., Ledauphin, T., Koehl, M., Grussenmeyer, P., & Zhu, Z. (2020, July). Monthly estimation of the surface water extent in France at 10-m resolution using Sentinel-2 data. *Remote Sensing of Environment*.
- Yanti, R. (2018). The Sustainable of Environmental Carrying Capacity To Support on Food Security (Nagari Sulit Air, X Koto Diatas District, Solok, West Sumatra). *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*.

Zhai, J., Hou, P., Zhang, W., & Chen, Y. (2023, Avril). Assessment of Water Conservation Services Based on the Method of Integrating Hydrological Observation Data According to Different Ecosystem Types and Regions. *Water*.



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Manon Couderc
2024-2025

Eau, agriculture et résilience : analyse du rôle des réservoirs dans le Tamil Nadu

This report evaluates the relevance of open-air reservoirs in Tamil Nadu for supporting current agricultural water needs. Combining remote sensing, hydrometeorological data, hydrological modelling and field observations, the study focuses on two reservoirs: Osudu (rural environment) and Kanagan (peri-urban environment). The analysis reveals contrasting hydrological responses to rainfall, depending on catchment size and land use. Available water volumes are compared with the irrigation needs of local crops. The findings show that well-positioned reservoirs, such as Osudu, can meet agricultural demand even during the dry season. The study highlights the need to reintegrate open-air reservoirs into local water management strategies in the context of increasing water scarcity and climate change.

Ce travail étudie la pertinence actuelle des réservoirs à ciel ouvert dans le Tamil Nadu, en particulier dans leur capacité à répondre aux besoins en irrigation agricole. Grâce à une approche combinant télédétection, données hydrométéorologiques, modélisation hydrologique et observations de terrain, deux réservoirs ont été analysés : Osudu (zone rurale) et Kanagan (zone périurbaine). L'étude met en évidence une dynamique différenciée de remplissage et de réponse aux précipitations, corrélée à la taille du bassin versant et à l'occupation du sol. Les volumes d'eau disponibles sont comparés aux besoins en irrigation selon les cultures recensées localement. Les résultats suggèrent que des réservoirs bien localisés, comme Osudu, peuvent répondre aux besoins agricoles même en saison sèche. Ce rapport se place dans une optique de réintégration des réservoirs dans les stratégies de gestion territoriale de l'eau, notamment dans un contexte de changement climatique et de raréfaction des ressources hydriques.

Mots Clés : Réservoirs à ciel ouvert, Tamil Nadu, Irrigation agricole, Télédétection, Modélisation hydrologique, Gestion de l'eau

Institut Français de Pondichéry
11 St. Louis Street, 605001 Pondicherry, Puducherry, INDIA

Tuteurs entreprise : Samuel Corgne (chef du département géomatique) et Laura Verdelli (enseignante-chercheuse)

Tutrice académique : Mathilde Gralepois (enseignante-chercheuse)