
Rapport de stage Estelle Chartier

4^{ème} année

Etude de la soutenabilité des réservoirs à ciel ouvert dans les 30 prochaines années.

Institut Français de Pondichéry

11, St Louis street, Pondicherry - 605-001 INDIA



Tuteur entreprise :

Samuel Corgne et Laura Verdelli

Tuteur académique :

Elisabeth Lehec

Estelle Chartier

UIT

2024-2025

Table des matières

Présentation de l'Institut Français de Pondichéry	3
Présentation du stage	4
Présentation du déroulé de la mission	4
Présentation des livrables de la mission.....	5
Retour sur l'expérience	7

Présentation de l'Institut Français de Pondichéry

L'Institut français de Pondichéry (IFP), UMIFRE 21 CNRS-MEAE, est un établissement de recherche sous la double tutelle du ministère français des Affaires étrangères et du Centre national de la recherche scientifique (CNRS). Il est le plus important des 26 centres de recherche de ces deux entités. Il fait également partie de l'unité de recherche USR 3330 « Savoirs et Mondes Indiens » du CNRS, avec le Centre de sciences humaines (CSH) de New Delhi.

Créé en vertu du Traité de cession des territoires français en Inde, l'Institut français de Pondichéry a été inauguré le 20 mars 1955. Sous la direction de son premier directeur (Jean Filliozat), il s'est initialement consacré à l'étude de la civilisation et de la culture indiennes, et plus particulièrement de l'histoire et des religions de l'Inde du Sud.

Dans les années 1960, reprenant une première cellule de recherche créée à l'origine de l'Institut, un Département d'Écologie a été créé afin de recueillir des informations sur les conditions et l'évolution de l'environnement en Inde du Sud (végétation, sols, changement climatique, etc.), en se concentrant sur les Ghâts occidentaux, l'un des 34 points chauds de biodiversité au monde.

Avec la création du Département de Sciences Sociales en 1988, l'Institut a également étendu son intérêt à l'évolution et à la dynamique de la société indienne.

Le développement de la recherche et la nécessité de l'appuyer par des méthodologies et des équipements modernes ont conduit à la création d'un Laboratoire de Géomatique (LIAG) dans les années 1990, rebaptisé Département de Géomatique en 2022. L'Institut s'est ainsi doté d'outils modernes pour la représentation et l'analyse des relations spatio-temporelles entre ces entités et leur environnement. L'installation de la Géomatique comme outil commun a grandement contribué à l'identification de nouveaux axes de recherche.

L'IFP dispose également d'une bibliothèque pluridisciplinaire. Ce centre rassemble des données spécialisées sur les recherches menées à l'IFP, enrichies chaque année grâce à une politique d'acquisition dynamique. Riche d'environ 70 000 ouvrages, la bibliothèque est ouverte au public selon un règlement défini par l'IFP.

Conformément à l'article 24 du Traité de cession des territoires français en Inde (1956), l'IFP a pour mission d'être un établissement d'études supérieures et de recherche.

Outil de la diplomatie scientifique française, l'Institut renforce le partenariat franco-indien par ses missions de recherche et de formation. Par ses projets de recherche en Asie du Sud, il contribue à la valorisation du patrimoine culturel et naturel de l'Inde.

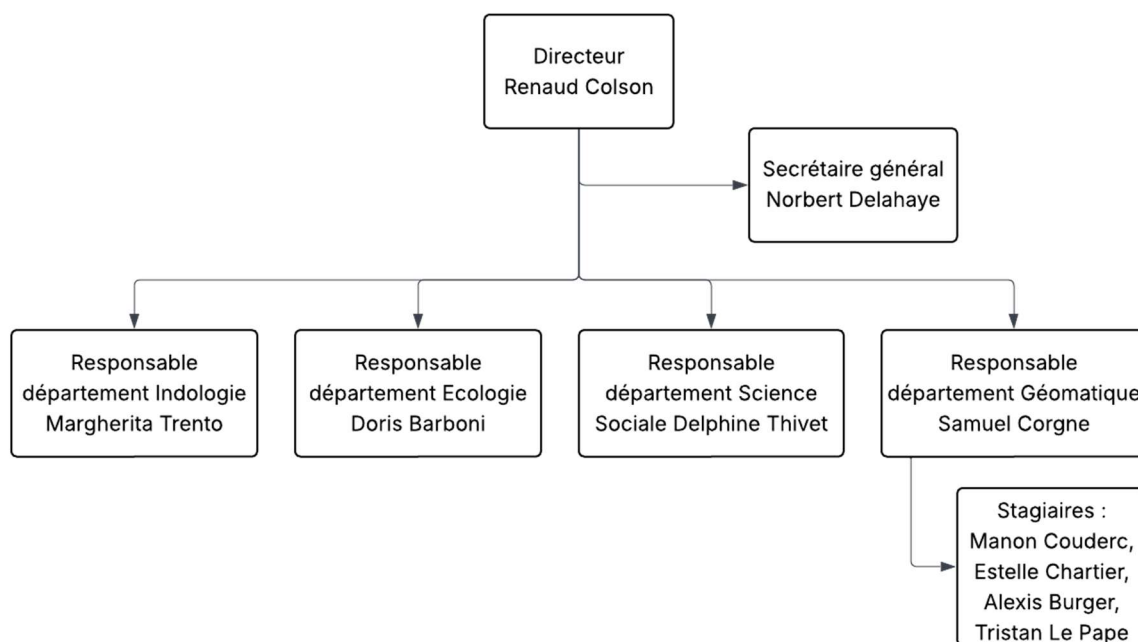


Figure 1 : Organigramme de l'Institut Français de Pondichéry (IFP)

Présentation du stage

Mon stage s'inscrit dans le cadre d'une réflexion sur la soutenabilité de la réhabilitation des réservoirs à ciel ouvert dans la région du Tamil Nadu, en Inde. Ces systèmes traditionnels de stockage de l'eau constituent pour moi une composante essentielle de l'approvisionnement en eau, tant pour l'agriculture que pour les besoins domestiques. Cependant, j'ai constaté que les dynamiques contemporaines, marquées par le changement climatique et l'intensification des usages de l'eau, interrogent leur viabilité à long terme. Mon objectif général a donc été de déterminer si la restauration et la gestion durable de ces réservoirs pouvaient constituer une solution d'adaptation pertinente face aux pressions environnementales et socio-économiques futures.

Pour atteindre cet objectif, j'ai évalué les impacts potentiels du changement climatique sur les régimes de précipitations et sur l'hygrométrie dans la région étudiée. Ces paramètres sont en effet déterminants pour estimer la recharge et l'évaporation des réservoirs, et donc leur capacité à assurer une régulation efficace de la ressource en eau. Ma démarche s'est principalement appuyée sur l'analyse des projections climatiques issues des scénarios socio-économiques partagés (SSP) développés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Ces scénarios m'ont permis d'explorer différentes trajectoires possibles d'évolution des températures, des émissions et de leurs impacts sur les précipitations.

Pour ce faire, je me suis appuyé sur deux sources principales de données. D'une part, les séries historiques de précipitations journalières issues du jeu de données CHIRPS pour la période 1995-2014, que j'ai traitées à l'aide d'outils de programmation (Python) afin de calculer des moyennes mensuelles représentatives de la situation passée. D'autre part, les projections

climatiques disponibles dans l'Atlas interactif du GIEC, proposant des estimations de l'évolution des précipitations selon différents scénarios SSP pour la période 2021-2060, que j'ai comparées à la période de référence 1995-2014. J'ai appliqué ces changements projetés aux moyennes calculées afin de construire des séries prospectives permettant de simuler les évolutions de la pluviométrie au cours des prochaines décennies.

Mon travail a ainsi consisté à produire des courbes de projection comparant les conditions futures aux moyennes passées et à identifier les tendances majeures concernant l'évolution de la ressource en eau disponible dans les réservoirs. J'ai également intégré les perspectives offertes par des recherches parallèles. Par exemple, les travaux de Manon Couderc sur la demande en eau agricole liée aux réservoirs de Kanagan et d'Oussudu m'ont permis de mettre en regard les estimations d'offre avec les dynamiques de consommation future. De même, les résultats de télédétection de Tristan Le Pape m'ont offert l'opportunité d'envisager l'extension de la méthode développée à l'ensemble des réservoirs identifiés dans la région, augmentant ainsi la portée spatiale de l'étude.

Au-delà de la modélisation, mon enjeu central a été d'apporter des éléments concrets aux décideurs et aux acteurs locaux quant à la faisabilité et à la pertinence de la réhabilitation des réservoirs. En anticipant les impacts du changement climatique sur la pluviométrie et les ressources en eau, j'ai cherché à fournir une base scientifique utile pour évaluer dans quelle mesure ces infrastructures traditionnelles peuvent constituer une stratégie durable d'adaptation et de sécurisation de l'approvisionnement en eau dans le Tamil Nadu.

Présentation du déroulé de la mission

J'ai débuté mon stage le 22 avril, une première journée consacrée à la prise de contact avec le projet PATAMIL, la découverte des objectifs qui m'étaient confiés et l'organisation du travail à venir. Cette étape m'a permis de comprendre le rôle de mon stage dans le cadre global du projet et de situer mes missions par rapport aux autres membres de l'équipe.

Dès le 23 avril, j'ai participé à une première visioconférence avec Laura Verdelli et Samuel Corgne. Cet échange a été essentiel pour clarifier mes missions, poser mes premières questions et définir les grandes orientations méthodologiques de mon travail. J'ai ainsi pu établir un premier cadre de recherche qui a servi de base pour la suite du stage.

Le 25 avril, j'ai suivi un cours de télédétection dispensé par Samuel Corgne. Ce cours m'a apporté les bases théoriques nécessaires pour comprendre le fonctionnement des outils de télédétection appliqués à l'hydrologie. Dans la continuité de ce cours, nous avons mis en œuvre en groupe une méthode de détection des réservoirs à ciel ouvert à partir d'images satellites. Cette mise en pratique collective m'a permis de mieux appréhender la pertinence de ces outils pour mon sujet et de renforcer ma maîtrise des données spatiales.

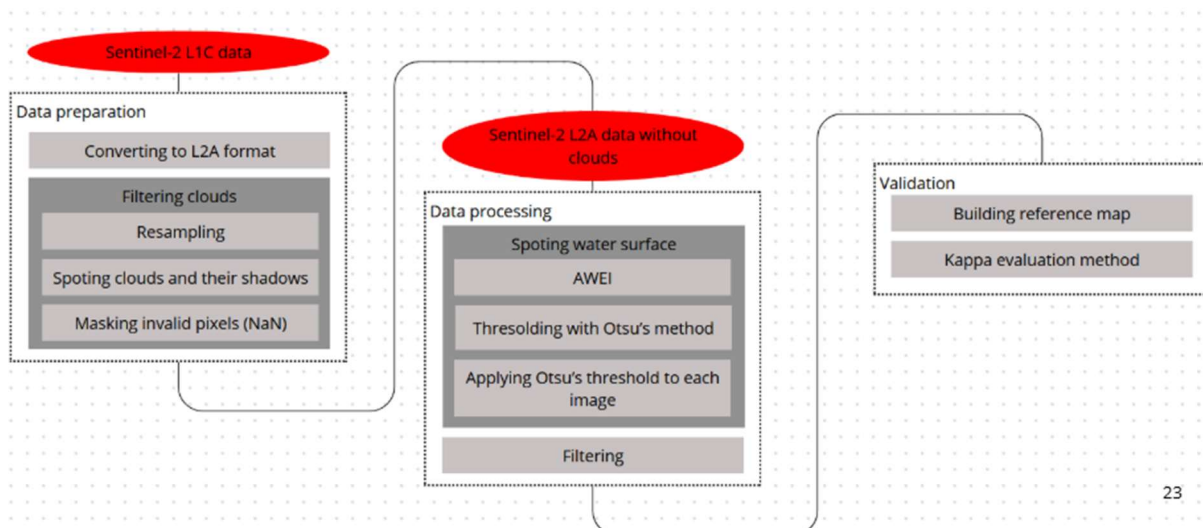


Figure 2 : Méthode de télédétections des réservoirs à ciel ouverts à partir d'image Sentinel-2 L1C

Le 20 mai, j'ai présenté avec d'autres stagiaires l'avancée de nos travaux lors d'une réunion du département de géomatique. Cet exercice m'a donné l'occasion de confronter ma démarche aux regards d'autres chercheurs et de recueillir des retours critiques précieux pour améliorer ma méthode. Quelques jours plus tard, le 22 mai, une réunion individuelle avec Laura Verdelli m'a permis de faire un point plus spécifique sur mon projet et d'ajuster mes objectifs en fonction de mes premiers résultats.

Le 27 mai, j'ai suivi un nouveau cours sur la télédétection radar avec Samuel Corgne. Ce module a complété mes compétences initiales et m'a aidé à améliorer ma première présentation PowerPoint grâce aux retours reçus. À la suite de ce cours, le 28 mai, j'ai procédé à une mise au propre de mes objectifs de stage, afin de clarifier et formaliser ma feuille de route pour les semaines suivantes.

Le 5 juin, j'ai bénéficié d'une formation pratique sur le traitement des images RADAR Sentinel-1 avec SNAP. Cette étape technique a été cruciale pour approfondir ma capacité à analyser des données de télédétection avancées et les appliquer à la détection et au suivi des réservoirs.

À partir du 16 juin, j'ai commencé à travailler sur la présentation finale prévue à l'IFP. Ce travail de préparation m'a permis de structurer mes résultats et de réfléchir à la manière de les communiquer de façon claire et scientifique. Dans ce cadre, j'ai présenté mes avancées devant Samuel le 20 juin, puis devant Laura Verdelli le 2 juillet. Ces étapes intermédiaires ont été essentielles pour valider mes choix méthodologiques et intégrer des retours critiques dans mon travail.

Le 14 juillet, j'ai commencé à préparer la présentation destinée au Monday Colloquium, un séminaire interne visant à valoriser et partager nos recherches, le tout présenté en anglais. Le 21 juillet, j'ai présenté mes travaux devant un public élargi, ce qui m'a permis d'exposer mes résultats, de répondre à des questions et de recevoir des retours utiles pour la suite.

La dernière phase de mon stage a été consacrée à la rédaction du rapport scientifique. Ce travail d'écriture m'a permis de synthétiser l'ensemble de ma démarche, de mettre en valeur mes résultats et de proposer des perspectives de recherche, tout en développant mes compétences de rédaction académique.

Présentation des livrables de la mission

Le livrable principal de mon stage est un rapport de recherche, qui synthétise l'ensemble des travaux réalisés durant cette période. Ce document constitue à la fois une restitution scientifique et un outil d'analyse destiné à alimenter les réflexions menées dans le cadre du projet PATAMIL sur la gestion et la réhabilitation des réservoirs à ciel ouvert.

Le rapport est structuré en plusieurs sections complémentaires qui permettent de retracer l'ensemble de ma démarche. L'état de l'art constitue une première partie essentielle, où j'ai défini et expliqué ce que sont les réservoirs à ciel ouvert, avant de présenter leur historique, leur développement et leur mode de construction en Inde, en m'appuyant sur des références scientifiques solides. Cette mise en contexte historique et conceptuelle permet de situer les enjeux contemporains de ces infrastructures dans une perspective longue.

La partie suivante est consacrée aux objectifs du travail de recherche, qui consistent à évaluer les impacts du changement climatique, et plus particulièrement des évolutions de la pluviométrie, sur les réservoirs d'Osudu et de Kanagan. Ces objectifs sont déclinés en sous-objectifs précis, ce qui a permis de construire une démarche méthodologique adaptée et rigoureuse.

La troisième section décrit en détail les sites d'étude et les données mobilisées. J'y présente les deux réservoirs étudiés, leurs caractéristiques géographiques et socio-environnementales, ainsi que les différents jeux de données utilisés : données CHIRPS pour la pluviométrie passée, projections climatiques issues de l'Atlas interactif du GIEC, et scénarios socio-économiques (SSP). Chaque source est définie et explicitée afin de clarifier son rôle dans l'analyse.

La méthodologie adoptée est ensuite exposée. Elle repose sur le traitement des données de précipitations, leur mise en moyenne sur la période de référence (1995–2014), puis l'application des variations issues des projections climatiques du GIEC (2021–2060) afin d'obtenir des estimations futures pour différents scénarios SSP. Cette approche est illustrée par des schémas explicatifs et discutée de manière critique.

Les premiers résultats sont présentés sous la forme de courbes comparant les moyennes historiques et les projections futures. Ils mettent en évidence une augmentation des précipitations au cours de la mousson, contrastant avec une relative stabilité pendant la saison sèche. Ces résultats sont interprétés en lien avec les enjeux de gestion de l'eau et d'adaptation des réservoirs.

Enfin, une section consacrée aux limites et perspectives clôturer le rapport. Elle discute les incertitudes méthodologiques liées aux données et aux modèles utilisés, tout en proposant des pistes de recherche complémentaires, telles que l'intégration de la demande en eau agricole ou l'extension de la méthode à d'autres réservoirs et à des horizons temporels plus lointains.

Retour sur l'expérience

Mon stage en Inde, dans le cadre du projet PATAMIL, a été une expérience extrêmement enrichissante, tant sur le plan scientifique que personnel. La différence culturelle a constitué un défi stimulant : j'ai dû réapprendre à me déplacer, à m'alimenter, à communiquer et à m'adapter à un environnement quotidien très différent. L'Institut Français de Pondichéry (IFP) est un lieu particulier où se mêlent les cultures indienne et française, créant un cadre unique qui m'a beaucoup marqué.

La présence et l'accompagnement de Laura Verdelli et Samuel Corgne ont été déterminants pour l'avancée de mon travail. Leurs conseils m'ont permis d'affiner progressivement les objectifs de mon stage et de donner une orientation claire à mes recherches. J'avais initialement commencé par travailler sur la cartographie des réservoirs par télédétection, mais cette piste s'est révélée insuffisante pour répondre à ma problématique. Ce recentrage, guidé par leurs échanges et leur expertise, m'a permis de construire une démarche cohérente et directement reliée aux enjeux du projet PATAMIL.

Au-delà de l'aspect méthodologique, ce stage m'a permis de mieux comprendre le métier de chercheur. J'ai pu me familiariser avec la manière dont se construit une réflexion scientifique, depuis la formulation des hypothèses jusqu'à la rédaction d'articles et de rapports. Ce travail s'est rapproché de l'exercice du projet de fin d'études, mais avec une dimension plus poussée sur le plan théorique et méthodologique. La participation au Monday Colloquium a été particulièrement enrichissante : elle m'a donné l'opportunité de présenter mes résultats devant des chercheurs issus de disciplines variées, chacun apportant un regard différent et des pistes de réflexion nouvelles. Présenter en anglais un sujet complexe a constitué un défi, mais également une expérience formatrice qui m'a permis de gagner en confiance et en rigueur.

Sur le plan organisationnel, l'un des principaux défis a été la gestion du temps. Il m'a été difficile d'anticiper la durée nécessaire à chaque tâche, et j'ai parfois rencontré des difficultés à organiser seule mon travail pour répondre aux attentes du projet. Avec le recul, la mise en place d'un rétroplanning dès le début du stage aurait été précieuse pour structurer l'avancement. Les échéances fixées par Laura et Samuel se sont révélées particulièrement utiles pour rythmer ma progression et visualiser clairement les étapes à franchir et les objectifs à atteindre. J'ai veillé à rendre un travail finalisé à chaque échéance et à concentrer mes efforts sur des objectifs réalistes et atteignables dans le temps imparti.

En parallèle, j'aurais souhaité automatiser davantage ma méthode afin de l'appliquer à l'ensemble du Tamil Nadu et de l'étendre à d'autres horizons temporels, notamment jusqu'en 2100. Cette évolution aurait permis de renforcer l'applicabilité et la portée des résultats obtenus et constitue une piste intéressante pour de futurs travaux.

Enfin, ce stage m'a apporté une meilleure connaissance de moi-même et de mes aspirations professionnelles. Bien qu'il m'ait permis de développer de nombreuses compétences scientifiques, méthodologiques et organisationnelles, il m'a aussi confortée dans l'idée que je ne souhaite pas m'orienter vers une carrière dans la recherche académique. Néanmoins, cette expérience reste extrêmement formatrice et constitue une étape importante dans mon parcours, car elle m'a permis de prendre conscience de mes intérêts, de mes compétences, mais aussi des environnements professionnels dans lesquels je m'épanouis le mieux.



Institut français de Pondichéry

Etude de la soutenabilité des réservoirs à ciel ouvert dans les 30 prochaines années.

Estelle Chartier
31/07/2025

Table des matières

Etat de l'art.....	11
Définition et fonctionnement d'un réservoir à ciel ouvert.....	11
Historique des réservoirs en Inde : entre appropriation locale et centralisation étatique	12
Fonctions et enjeux contemporains des réservoirs à ciel ouvert.....	12
Objectifs.....	13
Sites d'étude et données utilisées.....	14
Présentation des sites d'étude : les réservoirs d'Osudu et de Kanagan.....	14
Présentation détaillée des sources de données	15
Méthode	18
Résultats	19
Limites et perspectives.....	21
Annexe 1 :	24

Etat de l'art

Définition et fonctionnement d'un réservoir à ciel ouvert

Un réservoir à ciel ouvert est une structure hydraulique de surface conçue pour capter, stocker et gérer les eaux de ruissellement, principalement issues des précipitations. Ces systèmes, largement utilisés dans les régions semi-arides, remplissent plusieurs fonctions hydrologiques, agricoles et socio-environnementales.

Le fonctionnement d'un réservoir à ciel ouvert repose sur un ensemble d'éléments structuraux clés, comme illustré dans la figure ci-dessous. L'eau de pluie est d'abord acheminée vers le réservoir par un canal d'entrée (inlet channel), qui capte le ruissellement provenant du bassin versant. Le réservoir principal sert de zone de stockage temporaire de l'eau. Sa capacité est dépendante à la fois de sa superficie, de sa profondeur et de la topographie environnante.

Sur le plan structurel, le réservoir est généralement fermé en aval par une digue ou levée de terre (embankment ou bund), souvent renforcée par des dispositifs de soutènement afin de limiter l'érosion. Un trop-plein (spillway) est intégré à la digue pour permettre l'évacuation contrôlée des excès d'eau en période de fortes précipitations, évitant ainsi la surcharge et les risques de rupture.

Le fond du réservoir est sujet à l'accumulation de sédiments (silt layer), résultant du transport de particules fines par les eaux de ruissellement. Cette sédimentation progressive peut réduire la capacité de stockage et nécessite des opérations périodiques pour retirer le surplus. Un système de sortie (outlet) permet la distribution de l'eau stockée, notamment à des fins agricoles ou domestiques.

Ces structures présentent l'avantage d'être peu coûteuses, facilement intégrables dans les paysages ruraux, et adaptables aux ressources et aux savoir-faire locaux. Leur efficacité repose cependant sur un entretien régulier et une gestion collective appropriée.

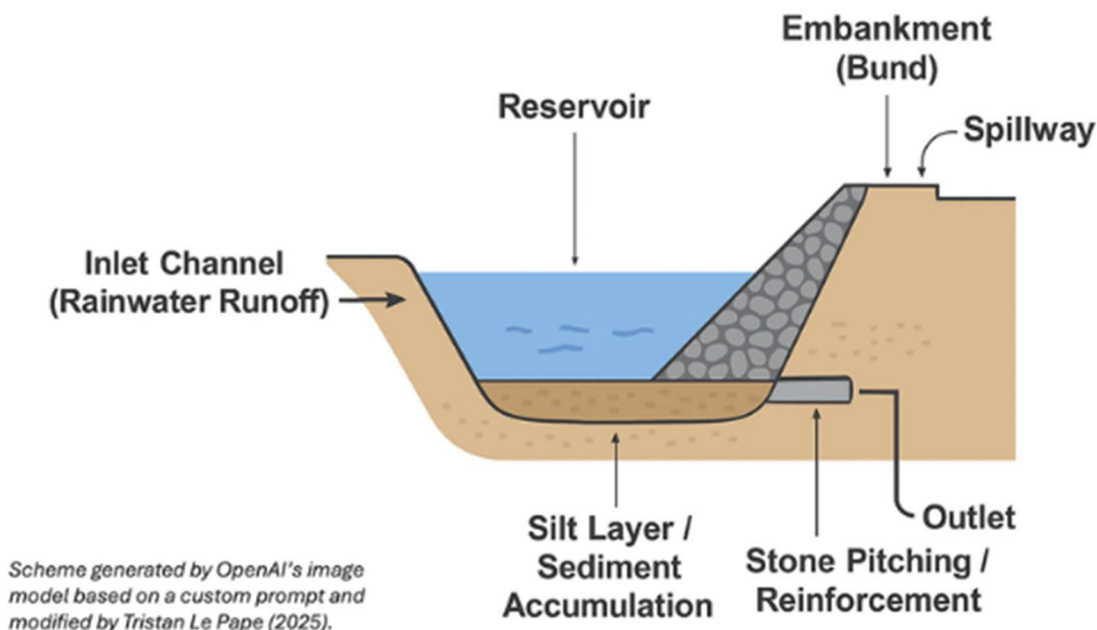


Figure 1

Historique des réservoirs en Inde : entre appropriation locale et centralisation étatique

Les réservoirs à ciel ouvert, représentent un héritage hydraulique ancestral dans les régions rurales de l'Inde, particulièrement dans le sud du pays. Avant la colonisation britannique, ces structures étaient considérées comme des biens communs, entretenus de manière locale et décentralisée par les communautés villageoises. Cette gestion collective permettait une régulation fine des ressources hydriques en fonction des besoins agricoles, domestiques et rituels, tout en assurant une pérennité de l'ouvrage à travers des mécanismes d'entretien communautaire (Durand, 2017).

L'arrivée du pouvoir colonial britannique a marqué un changement profond de paradigme dans la gouvernance de ces infrastructures. L'administration impériale a progressivement introduit une gestion centralisée, attribuant la propriété et la responsabilité des réservoirs à l'État colonial, au détriment des logiques locales de gouvernance. Ce processus de nationalisation a engendré une rupture dans les dynamiques de responsabilité communautaire, contribuant à une forme de désengagement progressif des populations locales. L'introduction de moyens techniques modernes, comme les forages et les systèmes de pompage, a par ailleurs accentué le désintérêt pour les réservoirs traditionnels, perçus comme obsolètes face à des solutions plus mécanisées, bien que souvent moins durables à long terme.

Fonctions et enjeux contemporains des réservoirs à ciel ouvert

Aujourd'hui, les réservoirs à ciel ouvert conservent une fonctionnalité plurielle, au croisement des dimensions écologiques, économiques et socio-culturelles. Comme le montre le schéma ci-dessous (voir Figure X), leur rôle va bien au-delà du simple stockage d'eau. Sur le plan écologique, ils participent à la conservation des sols, à la recharge des nappes phréatiques, à la régulation des crues, et à la préservation de la biodiversité locale (Ariza, Galan, Serrano, 2007). Ils jouent également un rôle important dans la lutte contre l'érosion et la création d'habitats pour de nombreuses espèces, en particulier dans des écosystèmes fragiles.

Sur le plan économique, ces réservoirs soutiennent l'agriculture de subsistance, offrent une assurance contre les périodes de sécheresse, et sont à l'origine d'activités connexes telles que la pêche, l'élevage ou encore la production de matériaux de construction (Palanisami, 2006). D'un point de vue socio-culturel, ils représentent des espaces de vie communautaire, intégrés aux rituels religieux et aux pratiques sociales locales. Leur valorisation passe alors non seulement par des politiques de réhabilitation technique, mais aussi par une reconnaissance de leur rôle culturel et symbolique dans l'organisation des sociétés rurales.

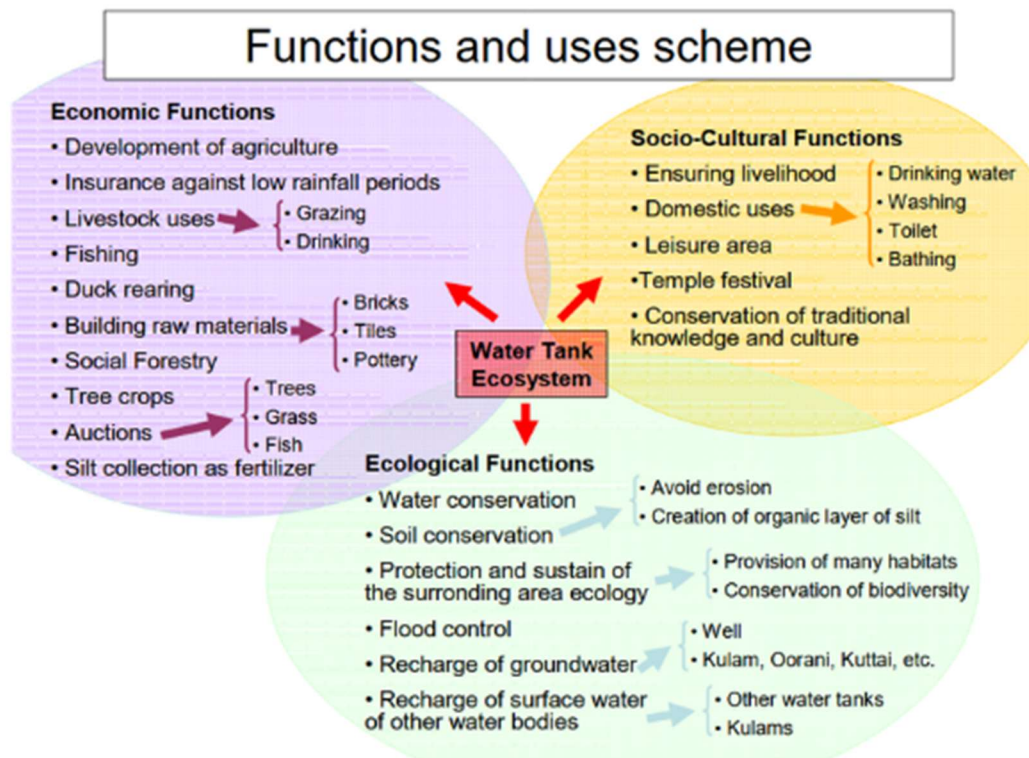


Figure 2

Objectifs

L'objectif principal de cette recherche est d'évaluer les impacts potentiels du réchauffement climatique, en particulier les évolutions de la pluviométrie, sur le fonctionnement de deux réservoirs à ciel ouvert situés dans le sud de l'Inde : Kanagan et Osudu. Dans un contexte de changement climatique global, la disponibilité et la gestion de l'eau deviennent des enjeux majeurs pour la durabilité des ressources hydriques locales, en particulier dans les zones soumises à une forte variabilité interannuelle des précipitations.

Afin de répondre à cette problématique, deux sous-objectifs méthodologiques ont été définis :

1. Reconstituer les données de pluviométrie pour la période 1995-2014

Cette étape vise à établir une base historique fiable de données climatiques pour chacun des deux réservoirs. L'estimation des précipitations sur cette période constitue un référentiel essentiel,

permettant de caractériser le régime pluviométrique passé et d'identifier les tendances et anomalies locales. Ces données serviront également de base de comparaison pour l'analyse prospective à l'aide des projections climatiques fournies par les scénarios du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).

2. Projeter l'évolution de la pluviométrie pour la période 2041-2060 selon les scénarios du GIEC

Le second objectif consiste à modéliser la pluviométrie future sur les deux sites d'étude à l'horizon 2041-2060, en mobilisant les quatre scénarios climatiques du GIEC (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5). Cette projection permettra d'évaluer les variations potentielles des apports hydriques et, par conséquent, d'anticiper les conséquences hydrologiques et de gestion sur les réservoirs étudiés. Elle vise à fournir des éléments d'aide à la décision pour les acteurs locaux en matière d'adaptation et de résilience des systèmes de gestion de l'eau.

Sites d'étude et données utilisées

Présentation des sites d'étude : les réservoirs d'Osudu et de Kanagan

Les réservoirs à ciel ouvert d'Osudu et de Kanagan sont localisés dans le territoire de Puducherry, au sud-est de l'Inde, dans une zone soumise à un climat tropical semi-aride, fortement influencé par la mousson du nord-est. Ces réservoirs traditionnels constituent des infrastructures hydrauliques ancestrales ayant pour fonction principale la rétention et la régulation des eaux de ruissellement, tout en jouant un rôle crucial dans le soutien aux activités agricoles, la recharge des nappes phréatiques et la préservation des écosystèmes locaux.

Le lac d'Osudu, le plus vaste des deux, se distingue par sa valeur écologique élevée : il est classé comme zone humide protégée en raison de la richesse de sa biodiversité, notamment. Cependant, il subit une pression urbaine croissante, liée à l'expansion de la ville de Puducherry, qui affecte ses fonctions écologiques et hydrologiques. À l'inverse, le réservoir de Kanagan est situé dans un environnement rural, avec une dépendance forte des populations locales à l'égard des ressources en eau pour l'irrigation, l'élevage et l'usage domestique. Il constitue un élément stratégique de résilience hydrique, notamment en période de déficit pluviométrique.

Ces deux sites ont été choisis pour leur complémentarité territoriale (urbain/rural), leur représentativité des réservoirs traditionnels du sud de l'Inde, et leur vulnérabilité face aux changements climatiques, en particulier à la variation des régimes de précipitations.

Les réservoirs d'Osudu et de Kanagan s'inscrivent dans des dynamiques socio-environnementales complexes. Sur le plan écologique, ils assurent des fonctions essentielles : régulation du cycle de l'eau, recharge des aquifères, atténuation des crues, conservation des sols et préservation de la biodiversité. Sur le plan social et économique, ils soutiennent des systèmes de subsistance rurale, sécurisent les activités agricoles, et constituent des lieux de pratiques rituelles, culturelles et communautaires. Ces fonctions sont particulièrement sensibles aux perturbations induites par le changement climatique, qui accentue les tensions sur les ressources hydriques locales.

Dans ce contexte, l'étude vise à mieux comprendre l'impact des évolutions climatiques futures, notamment en matière de pluviométrie, sur le fonctionnement et la durabilité de ces deux systèmes hydrauliques.

Présentation détaillée des sources de données

Dans le cadre de cette étude, plusieurs jeux de données ont été mobilisés afin de permettre une évaluation fine de l'évolution de la pluviométrie et de son impact sur les réservoirs d'Osudu et de Kanagan. Ces données proviennent de sources fiables et validées par la communauté scientifique internationale, et répondent à des objectifs méthodologiques spécifiques dans le traitement temporel et spatial des variables climatiques et environnementales.

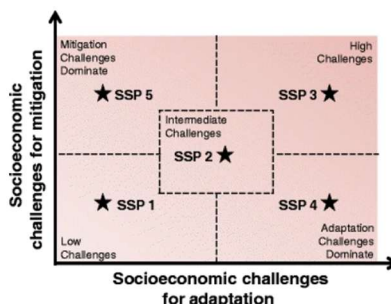
Name	Source	Years	Objectives	Link
Rainfall data CHIRPS	Climate Hazard Center UC Santa Barbara	1995-2014	Determine water inputs and variations related to the seasons	https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps
CLIMATE CHANGE 2023 Synthesis Report	IPCC (GIEC)	2023	Understanding the different SSP scenarios	10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
IPCC WGI Interactive Atlas	IPCC (GIEC)	2023	Estimate rainfall from 2041 to 2060	https://interactive-atlas.ipcc.ch/regional-information
Sentinel-2 data	GEODES	2015-2024	Time signature of the 2 lakes to see the impact of the seasons	https://geodes-portal.cnes.fr/

Figure 3

1. Les données CHIRPS, issues du Climate Hazard Center de l'Université de Californie à Santa Barbara, couvrent la période 1995–2014 et constituent une base pluviométrique historique de haute résolution (0,05°), combinant des observations satellitaires avec des données issues de stations météorologiques au sol. Ce jeu de données est reconnu pour sa robustesse dans les zones tropicales et semi-arides, notamment en Asie du Sud. Dans cette recherche, CHIRPS sert de référence climatique de la période passée, permettant de calibrer les analyses et d'établir une base comparative pour les projections futures. L'objectif est ici de quantifier les apports en eau par saison et d'en dégager les tendances passées propres à chaque bassin.

2. Données du rapport de synthèse du GIEC – Climate Change 2023: Synthesis Report Ce rapport constitue le document de synthèse du sixième cycle d'évaluation du GIEC (AR6), publié en 2023. Il présente une vue intégrée des trajectoires climatiques globales selon différents scénarios socio-économiques (SSP). L'intérêt de ce rapport réside dans la compréhension théorique et structurelle des scénarios d'évolution du monde à long terme (horizon 2100), notamment via l'introduction des SSP (Shared Socioeconomic Pathways). Dans le cadre de cette étude, ce document sert de référence conceptuelle pour interpréter les dynamiques futures de précipitation selon les choix politiques et économiques globaux.

From: A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways



The "challenges space" to be spanned by SSPs (based on Kriegler et al. 2012, Fig. 3), divided into five "domains" with one SSP located within each domain, represented by a star

Figure 4

Les cinq SSP sont positionnés dans un espace défini par deux axes : les défis socio-économiques pour l'adaptation (horizontalement), les défis pour l'atténuation des émissions (verticalement).

Les cinq SSP sont définis comme suit [12] :

- **SSP1** : La voie durable et "verte" décrit un monde de plus en plus durable. Les biens communs mondiaux sont préservés, les limites de la nature sont respectées. L'accent est mis sur le bien-être humain plutôt que sur la croissance économique. Les inégalités de revenus entre les États et au sein des États sont réduites. La consommation est orientée vers la minimisation de l'utilisation des ressources matérielles et de l'énergie.
- **SSP2** : La voie "médiane" ou moyenne extrapole le développement mondial passé et actuel vers l'avenir. Les tendances en matière de revenus dans les différents pays divergent considérablement. Il existe une certaine coopération entre les États, mais elle s'étend à peine. La croissance démographique mondiale est modérée et se stabilise dans la seconde moitié du siècle. Les systèmes environnementaux sont confrontés à une certaine dégradation.
- **SSP3** : Les rivalités régionales. Un regain de nationalisme et de conflits régionaux relègue les questions mondiales au second plan. Les politiques se concentrent de plus en plus sur les questions de sécurité nationale et régionale. Les investissements dans l'éducation et le développement technologique diminuent. Les inégalités augmentent. Certaines régions subissent des dommages environnementaux considérables.
- **SSP4** : Inégalité. Le fossé se creuse entre les sociétés développées qui coopèrent au niveau mondial et celles qui stagnent à un stade de développement inférieur, avec de faibles revenus et un faible niveau d'éducation. Les politiques environnementales parviennent à résoudre les problèmes locaux dans certaines régions, mais pas dans d'autres.
- **SSP5** : Développement à partir de combustibles fossiles. Les marchés mondiaux sont de plus en plus intégrés, ce qui entraîne des innovations et des progrès technologiques. Cependant, le développement social et économique est basé sur une exploitation intensifiée des ressources en combustibles fossiles, avec un pourcentage élevé de charbon et un mode de vie à forte intensité énergétique dans le monde entier. L'économie mondiale est en pleine croissance et les problèmes environnementaux locaux, tels que la pollution atmosphérique, sont abordés avec succès.

Le scénario SSP4 représente un monde marqué par des inégalités croissantes, dans lequel les pays riches adoptent rapidement des technologies bas-carbone, tandis que les pays en développement

restent très vulnérables, avec peu d'accès aux innovations climatiques. Cette trajectoire présente un profil asymétrique peu compatible avec les objectifs de représentativité régionale du GIEC, notamment pour les projections de variables physiques comme les précipitations. De plus, le forçage radiatif du SSP4 (6,0 W/m²) n'a pas été systématiquement modélisé pour toutes les variables et tous les modèles CMIP6, ce qui en limite l'exploitation dans les outils standards notamment l'Interactive Atlas du GIEC.

Ainsi, dans cette étude, seuls les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 et SSP5-8.5 ont été retenus, car ils couvrent un spectre cohérent et complet des futures possibles, allant de la décarbonation rapide à la poursuite de trajectoires intensives en émissions, tout en étant compatibles avec les projections régionales disponibles pour les variables climatiques, notamment la pluviométrie.

3. Développé par le Groupe de travail I du GIEC (Working Group I), l'Interactive Atlas constitue un outil de visualisation dynamique des projections climatiques issues des modèles CMIP6. Il permet une exploration régionale et temporelle précise des variables climatiques (température, précipitations, etc.), sur différents scénarios SSP. Pour cette recherche, l'atlas a été mobilisé afin de projeter les variations mensuelles de précipitations sur la période 2041–2060, pour les réservoirs d'Osudu et Kanagan, selon quatre scénarios : SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, et SSP5-8.5. L'objectif est d'anticiper l'évolution des régimes hydrologiques de la période 2041-2060 à l'échelle locale, en comparaison avec la période de référence 1995–2014, et d'évaluer l'impact différencié de chaque trajectoire sur les volumes captés et les saisons d'accumulation.

Comparer à 1995-2014	SSP1 - 2,6	SSP2 - 4,5	SSP3 - 7,0	SSP5 - 8,5
Janvier	11,8%	-0,7%	4,6%	13,6%
Février	1,4%	-11,5%	-8,2%	0,6%
Mars	-6,9%	-8,1%	-16,6%	-7%
Avril	7%	8,7%	-6,8%	0,1%
Mai	4,4%	7%	4,2%	2,2%
Juin	6,7%	-2,2%	0,2%	5,4%
Juillet	6%	7,6%	2,5%	6,7%
Août	9%	9,2%	7,8%	9,6%
Septembre	9,7%	10,3%	12,1%	15,6%
Octobre	2,5%	4,1%	1,3%	7,3%
Novembre	11,8%	8,8%	7,1%	15,1%
Décembre	4,6%	15,8%	1,5%	13,2%

Figure 5

4. Les données Sentinel-2 sont issues du programme Copernicus de l'Agence spatiale européenne (ESA), et sont accessibles via le portail GEODES développé par le CNES. Les images multispectrales Sentinel-2 offrent une résolution spatiale de 10 à 60 mètres selon les bandes, et sont particulièrement pertinentes pour l'observation de la dynamique de surface des plans d'eau. Dans le cadre de cette étude, les

données couvrant la période 2015–2024 ont été exploitées afin d’analyser la signature temporelle et saisonnière des deux réservoirs. L’objectif est de corrélér l’évolution spatiale des étendues d’eau à la variabilité pluviométrique saisonnière, et d’identifier les possibles changements de comportement hydrologique induits par les saisons sèches ou les épisodes extrêmes.

Bandes	Longueur d’onde (nm)	Couleur	Résolution spatiale (m)
B1	442	Bleu	60
B2	492	Cyan	10
B3	559	Vert	10
B4	664	Magenta	10
B5	704	Proche Infrarouge (PIR)	20
B6	740	Proche Infrarouge (PIR)	20
B7	780	Proche Infrarouge (PIR)	20
B8	832	Proche Infrarouge (PIR)	10
B8A	864	Proche Infrarouge (PIR)	20
B9	945	Proche Infrarouge (PIR)	60
B10	1375	Infrarouge moyen	60
B11	1610	Infrarouge moyen	20
B12	2200	Infrarouge moyen	20

Figure 6

Méthode

L’approche méthodologique adoptée dans cette étude repose sur le croisement de données climatiques historiques et prospectives afin d’évaluer les effets potentiels du changement climatique sur la pluviométrie des réservoirs à ciel ouvert d’Osudu et de Kanagan. Elle se décline en trois étapes principales.

1. Extraction et traitement des données historiques (1995–2014)

Les données de précipitations ont été extraites depuis la base CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data), développée par le Climate Hazard Center de l’Université de Californie à Santa Barbara. Ce jeu de données, reconnu pour sa résolution temporelle et spatiale élevée, fournit des estimations quasi-journalières des précipitations à l’échelle mondiale.

À l’aide d’un programme développé en Python (voir annexe 1), les coordonnées géographiques des deux réservoirs ont été utilisées pour isoler les données spécifiques à ces sites. La moyenne journalière des précipitations a été calculée sur l’ensemble de la période 1995–2014, avant d’être agrégée mensuellement. Cette série temporelle constitue la référence historique à laquelle seront appliquées les projections futures.

2. Intégration des scénarios climatiques SSP (2041-2060)

En parallèle, les projections climatiques du GIEC ont été exploitées à partir de l’Atlas interactif du Groupe I du GIEC (WGI Interactive Atlas). Les variations mensuelles de précipitations, exprimées en

pourcentages par rapport à la période 1995-2014, ont été extraites pour chacun des scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 et SSP5-8.5. Le scénario SSP4 n'est pas inclus dans cette étude car il est jugé peu pertinent dans le cadre des projections climatiques globales par le GIEC, du fait de son incohérence interne (fortes inégalités sociales combinées à des efforts d'atténuation partiels), et donc moins fréquemment modélisé dans les outils de simulation.

Ces projections représentent différentes trajectoires socio-économiques combinées à divers niveaux d'émissions de gaz à effet de serre. Chaque scénario anticipe une évolution distincte de la pression climatique, influencée par les politiques de développement, les changements technologiques et les comportements sociétaux.

3. Application des projections aux données historiques

Les coefficients de variation mensuels issus des scénarios SSP ont été appliqués aux moyennes mensuelles historiques calculées précédemment. Ce croisement permet d'obtenir des valeurs projetées absolues de précipitations pour la période 2041-2060, simulant ainsi l'impact des différents futurs climatiques possibles sur les réservoirs étudiés.

Les résultats de ce traitement sont présentés dans le tableau ci-dessous, qui illustre les précipitations mensuelles moyennes simulées pour chacun des quatre scénarios, comparées à la moyenne observée sur la période de référence.

	Moyenne 1995-2014	SSP1 - 2,6	SSP2 - 4,5	SSP3 - 7,0	SSP5 - 8,5
Janvier	24,410	27,291	24,239	25,533	27,730
Février	1,948	1,975	1,724	1,788	1,960
Mars	4,524	4,211	4,157	3,773	4,207
Avril	24,550	26,268	26,686	22,880	24,574
Mai	40,526	42,309	43,363	42,228	41,418
Juin	63,899	68,180	62,493	64,027	67,349
Juillet	75,978	80,536	81,752	77,877	81,068
Août	163,931	178,684	179,012	176,717	179,668
Septembre	105,485	115,717	116,350	118,249	121,941
Octobre	254,799	261,169	265,246	258,112	273,400
Novembre	265,769	297,130	289,157	284,639	305,900
Décembre	135,422	141,651	156,818	137,453	153,297

Figure 7

Enfin, les résultats ont été visualisés sous forme de courbes comparatives permettant de représenter graphiquement l'évolution mensuelle des précipitations selon les quatre trajectoires climatiques. Ces visualisations facilitent l'interprétation des différences saisonnières et permettent une analyse intégrée des impacts potentiels du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique des réservoirs d'Ossudu et de Kanagan.

Résultats

L'analyse des projections de précipitations pour la période 2041–2060, issues des différents scénarios climatiques du GIEC, permet de dégager plusieurs tendances significatives en lien direct avec la gestion des ressources hydriques dans la région de Pondichéry, notamment au niveau des réservoirs à ciel ouvert d'Ossudu et de Kanagan. Les résultats présentés dans le graphique de la pluviométrie

mensuelle prévisionnelle montrent clairement une augmentation marquée des précipitations pendant la saison de mousson, tandis que les mois correspondant à la saison sèche restent globalement stables, voire connaissent une légère diminution.

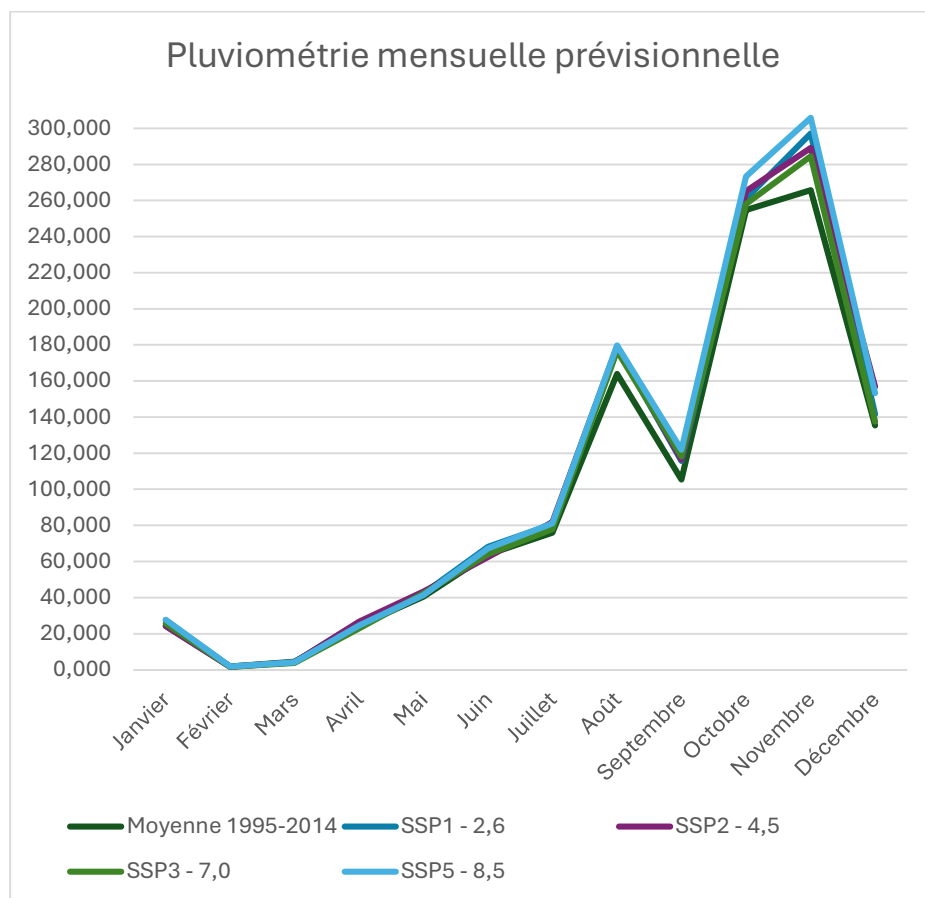


Figure 8

Entre les mois d'août et de novembre, les courbes associées aux différents scénarios convergent toutes vers une hausse des précipitations, plus ou moins marquée selon l'intensité des hypothèses d'émissions de gaz à effet de serre. Cette tendance est particulièrement visible pour les mois d'octobre et de novembre, avec une progression atteignant jusqu'à 7 % pour octobre et 15 % pour novembre dans le scénario le plus pessimiste (SSP5-8.5), comparé à la moyenne historique 1995–2014. Cette évolution traduit une intensification attendue de la mousson du nord-est, déjà identifiée comme le principal événement pluviométrique dans la région. Cette augmentation de la pluviométrie concentrée sur quelques mois soulève des enjeux majeurs pour la gestion des eaux de surface, en particulier la capacité des réservoirs à absorber des volumes croissants sur une période courte sans engendrer de débordements ni de pertes par ruissellement.

En revanche, les précipitations observées entre février et avril restent similaires ou parfois en baisse dans certains scénarios, notamment SSP3-7.0 et SSP2-4.5. Cette stabilité, voire cette diminution en période sèche, souligne que les vulnérabilités hydriques structurelles de la région en saison sèche persisteront dans les décennies à venir. Cela implique que la quantité d'eau disponible ne sera pas mieux répartie tout au long de l'année, mais davantage concentrée sur la mousson. Cette répartition temporelle inégale accroît le risque de déséquilibres entre périodes d'excès et périodes de pénurie.

Ces résultats, bien qu'ils puissent contredire les attentes initiales, mettent en lumière un fait essentiel : la pluie supplémentaire prévue dans les décennies à venir représente une ressource considérable si

et seulement si elle est captée, stockée et gérée de manière efficace. L'enjeu principal ne réside donc pas uniquement dans l'évolution quantitative des précipitations, mais dans la capacité des infrastructures existantes à s'adapter à cette nouvelle distribution saisonnière. À cet égard, les réservoirs d'Osudu et de Kanagan devront être évalués, réaménagés voire agrandis, afin de répondre à ces nouveaux besoins. Il sera également nécessaire d'améliorer les stratégies de gestion de l'eau à l'échelle régionale pour anticiper les excès, limiter les pertes et garantir une redistribution raisonnée des volumes stockés vers les périodes déficitaires.

La pluie du futur pourrait devenir une ressource stratégique pour Pondichéry, à condition que des mesures d'adaptation soient mises en place dès aujourd'hui. Cela inclut non seulement des actions techniques sur les infrastructures, mais aussi une meilleure planification hydrologique intégrant les projections climatiques à long terme. Les résultats obtenus à travers cette méthodologie, basée sur une extraction fine des données historiques et une application rigoureuse des scénarios du GIEC, démontrent que la planification du stockage et de la régulation de l'eau constituera l'un des piliers essentiels de l'adaptation au changement climatique pour les territoires dépendant des eaux de surface comme ceux d'Osudu et de Kanagan.

Limites et perspectives

La méthodologie employée dans cette étude comporte certaines limites qu'il convient de souligner. Tout d'abord, elle ne prend pas en compte des processus physiques essentiels tels que l'évaporation, qui représente pourtant une perte non négligeable dans le bilan hydrique des réservoirs à ciel ouvert, en particulier dans un contexte tropical comme celui de Pondichéry. De plus, les données utilisées présentent elles-mêmes des incertitudes intrinsèques. Les données CHIRPS, bien que fiables et largement utilisées, sont issues d'une combinaison de mesures satellitaires et de données interpolées à partir de stations météorologiques, ce qui en fait une estimation indirecte des précipitations. De même, les projections climatiques fournies par l'Atlas interactif du GIEC résultent de la moyenne de plusieurs dizaines de modèles climatiques globaux. Ces modèles, bien qu'issus d'une méthodologie robuste, reposent sur des hypothèses socio-économiques complexes et peuvent diverger sensiblement d'un scénario à l'autre. Cela explique en partie les écarts constatés entre les valeurs obtenues dans cette étude et celles présentées directement dans les résultats du GIEC pour les périodes futures.

Par ailleurs, il serait pertinent d'intégrer les résultats des travaux de Manon Couderc portant sur la demande en eau agricole dans les bassins des réservoirs de Kanagan et d'Osudu. Ces études permettraient de compléter l'approche actuelle en croisant les prévisions d'offre en eau avec les dynamiques futures de la demande, et ainsi anticiper plus finement les éventuelles tensions hydriques. En parallèle, l'approche de télédétection développée par Tristan Le Pape constitue une opportunité méthodologique importante. En effet, les réservoirs identifiés dans le cadre de son travail pourraient constituer un échantillon élargi permettant d'appliquer cette méthode à l'échelle régionale, renforçant ainsi la représentativité des résultats obtenus.

Dans cette logique d'extension, une piste de recherche prometteuse consisterait à caractériser la signature temporelle des réservoirs d'Osudu et de Kanagan sur la période allant de 2015 à 2024 grâce aux données satellitaires Sentinel-2. Cette analyse permettrait de mieux comprendre l'évolution interannuelle des niveaux d'eau et d'établir des modèles plus précis pour la période 2041-2060. À plus long terme, la méthode développée ici pourrait être automatisée et appliquée à l'ensemble de l'État du Tamil Nadu, notamment dans le cadre de scénarios pour la fin du XXI^e siècle (2080-2100), afin de fournir un outil d'aide à la décision à l'échelle des politiques publiques de gestion de l'eau.

Bibliographie :

- [1] Xiucheng Yang, Qiming Qin, Hervé Yésou, Thomas Ledauphin, Mathieu Koehl, Pierre , Resolution using Sentinel-2 data, *Remote Sensing of Environment*, Volume 244, 2020, 111803, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111803>
- [2] Marco Ottinger, Felix Bachofer, Juliane Huth, Claudia Kuenzer, Mapping Aquaculture ponds for the coastal zone of Asia with Sentinel-1 and Sentinel-2 time series, *Remote Sensing*, 2022, Volume 14, 153, <https://doi.org/10.3390/rs14010153>
- [3] Mirela G. Tulbure, Mark Broich, Stephen V. Stehman, Anil Kommareddy, Surface water extend dynamics from three decades of seasonally continuous Landsat time series at subcontinental scale in a semi-arid region, *Remote Sensing of Environment*, Volume 178, 2016, 142157, ISSN 0034-4257, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.034>
- [4] Andy Hardy, Georgina Ettritch, Dónall E. Cross, Pete Bunting, Francis Liywalii, Jacob Sakala, Andrew Silumesii, Douglas Singini, Mark Smith, Tom Willis, Chris J. Thomas, Automatic Detection of Open and Vegetated Water Bodies Using Sentinel 1 to Map African Malaria Vector Mosquito Breeding Habitats, *Remote Sensing*, 2019, Volume 11, 593, <https://doi.org/10.3390/rs11050593>
- [5] Peng Tian, Yongchao Liu, Jialin Li, Ruiliang Pu, Luodan Cao, Haitao Zhang, Shunyi Ai, Yunze Yang, Mapping Coastal Aquaculture Ponds of China Using Sentinel SAR Images in 2020 and Google Earth Engine, *Remote Sensing*, 2022, 14, 5372. <https://doi.org/10.3390/rs14215372>
- [6] Zhe Sun, Juhua Luo, Jingzhicheng Yang, Qiuyan Yu, Li Zhang, Kun Xue, Lirong Lu, Nation-Scale Mapping of Coastal Aquaculture Ponds with Sentinel-1 SAR Data Using Google Earth Engine, *Remote Sensing*, 2020, Volume 12, 3086, <https://doi.org/10.3390/rs12183086>
- [7] Koyel Sur, Vipin Kumar Verma, Brijendra Pateriya, Surface water estimation at regional scale using hybrid techniques in GEE environment-A case study on Punjab State of India, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2021, Volume 24, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100625>
- [8] Mirela G. Tulbure, Mark Broich, Stephen V. Stehman, Anil Kommareddy, Surface water extent dynamics from three decades of seasonally continuous Landsat time series at subcontinental scale in a semi-arid region, *Remote Sensing of Environment*, 2016, Volume 178, 142157, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.034>
- [9] IPCC, 2023: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: [10.59327/IPCC/AR6-9789291691647](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647).
- [10] Patrick Bitterman, Eric Tate, Kimberly J. Van Meter, Nandita B. Basu, Water security and rainwater harvesting: A conceptual framework and candidate indicators, *Applied Geography*, Volume 76, 2016, Pages 75-84, ISSN 0143-6228, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.09.013>
- [11] Ila Chawla, L. Karthikeyan, Ashok K. Mishra, A review of remote sensing applications for water security: Quantity, quality, and extremes, *Journal of Hydrology*, Volume 585, 2020, 124826, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124826>
- [12] <https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/339>
- [13] <https://www.ifpindia.org/>

[14] C. Claravall, Estimation of water resources on continental surfaces by multi-sensor microwave remote sensing, Universitat Ramon LLULL <http://hdl.handle.net/10803/667771>

Annexe 1 :

```
import xarray as xr
import pandas as pd

# Charger le fichier CHIRPS .nc
ds = xr.open_dataset("chirps-v2.0.2014.days_p05.nc")

# Vérifier les dimensions et variables disponibles
#print(ds)
#print(ds.coords) # pour voir les coordonnées

# Coordonnées de Pondichéry
latitude_target = 11.94
longitude_target = 79.83

# Adapter selon le système de coordonnées du fichier
# Si longitudes vont de 0 à 360, convertir :
if ds.longitude.max() > 180:
    longitude_target = lon_target % 360

# Extraire le point le plus proche
precip_point = ds.sel(latitude=latitude_target, longitude=longitude_target, method="nearest")

# Convertir en DataFrame
df = precip_point['precip'].to_dataframe().reset_index()

# Exporter au format CSV
df.to_csv("pluviometrie_pondichery_2014.csv", index=False)
```


(4^{ème} de
couverture)



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Estelle Chartier

2024-2025

Etude de la soutenabilité des réservoirs à ciel ouvert sur les 30 prochaines années.

Résumé : Dans le cadre du projet PATAMIL, ce stage a évalué la soutenabilité de la réhabilitation des réservoirs à ciel ouvert face au changement climatique dans le Tamil Nadu, en se concentrant sur les lacs d'Oussudu et de Kanagan. Les données CHIRPS ont été mobilisées pour reconstituer les précipitations de 1995 à 2014, tandis que les scénarios SSP du GIEC ont permis d'estimer les évolutions attendues à l'horizon 2041-2060. La méthodologie reposait sur la comparaison des moyennes historiques avec les anomalies climatiques pour produire des projections pluviométriques. Les résultats indiquent une augmentation des précipitations pendant la mousson et une stabilité de la saison sèche, soulignant la nécessité d'adapter les infrastructures de stockage. Les limites identifiées concernent l'évaporation non prise en compte, la dépendance aux données modélisées et la difficulté d'automatisation. Ces observations ouvrent des perspectives pour étendre la méthode à d'autres réservoirs et pour automatiser l'analyse à l'échelle du Tamil Nadu. Ce stage a renforcé mes compétences scientifiques et méthodologiques tout en contribuant à la gestion durable des ressources en eau.

Mots Clés : Eau, réservoirs à ciel ouverts, recherche, télédétection, GIEC

Institut Français de Pondichéry :

11, St Louis street, Pondicherry - 605-001 INDIA

Tuteur entreprise :

Samuel Corgne et Laura Verdelli

Tuteur académique :

Elisabeth Lehec

PATAMIL 2025

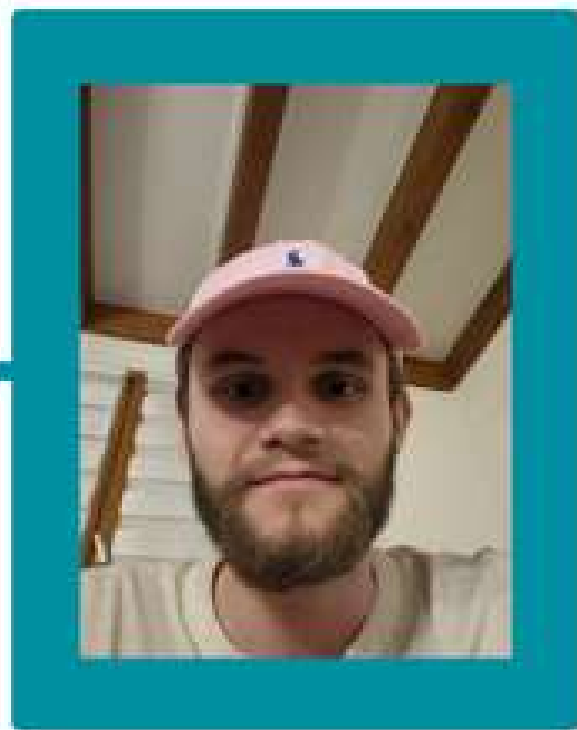
**Laura Verdelli
(Univ Tours)**

**Samuel Corgne
(IFP)**



Water detection monitoring with Sentinel-1 and 2 images

April – August 2025



Tristan LE PAPE

Position : Intern in Geomatics
Department

About: "Fun fact : I am not the real Pope"



Manon COUDERC

Position : Intern in Geomatics
Department

About: "I'm a figure skater who traded the ice for the sunshine - since moving to India, my skates are enjoying an unexpected tropical break!"



Alexis BURGER

Position: Intern in Geomatics
Department

About: "In less than a year, I will experiment the two extreme temperatures in the world : Indian summer and Canadian winter."



Estelle CHARTIER

Position: Intern in Geomatics
Department

About: "A fun fact about me is that I celebrated Holi in France last month and I won a quizz competition about indian culture"

Summary

1- Water tanks monitoring

For each of us :

2- Questions and Objectives

3 - Study site, data, method, first results, perspectives

4- Key findings

Patamil project

Task 1: Building Fair Food Territories in Tamil Nadu



Ecological



Agronomic



Social conditions

Equitable territorial food systems in Tamil Nadu and its enclave of Pondicherry.

The ecological quality of soils and irrigation water is assessed to identify landscape structures, crop rotations, and the links between agricultural practices, social organization, food habits, and rural quality of life

1- Water tanks monitoring

What are waters tanks ?

Water tanks are water collection systems meant to :



Be based on local and decentralized management



Cope with water shortages caused by the monsoon rainfall regime

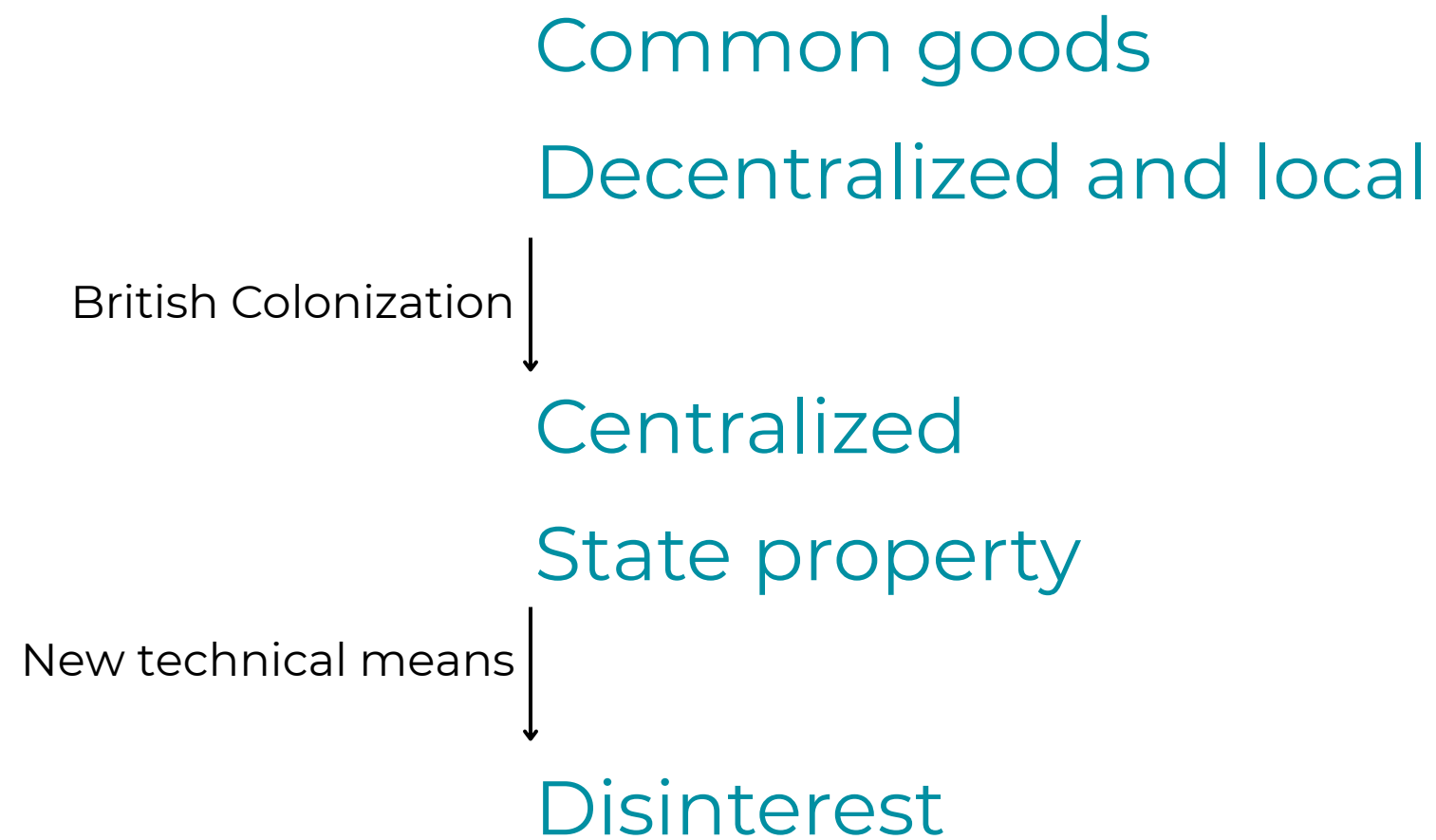


Retain the water that runs off the slopes and store it

(Ariza, Galan, & Serrano, 2007)

1- Water tanks monitoring

Historical aspect



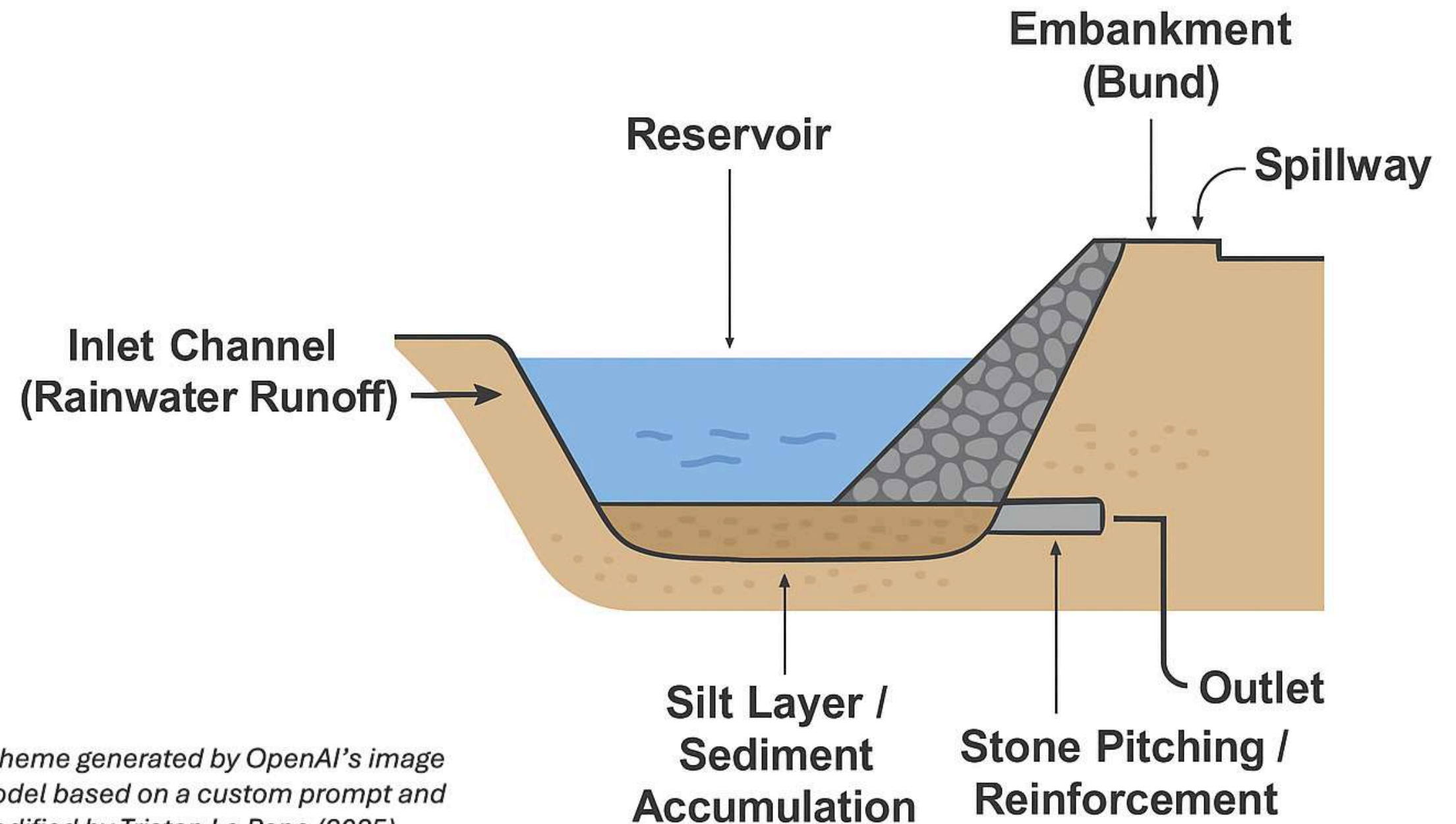
(Durand, 2017)

1- Water tanks monitoring

Construction

- Excavation:
- Embankments (bunds):
- Hydraulic structures:
 - Inlets:
 - Spillways:
 - Outlets:

Scheme of a Water Tank



Scheme generated by OpenAI's image model based on a custom prompt and modified by Tristan Le Pape (2025).

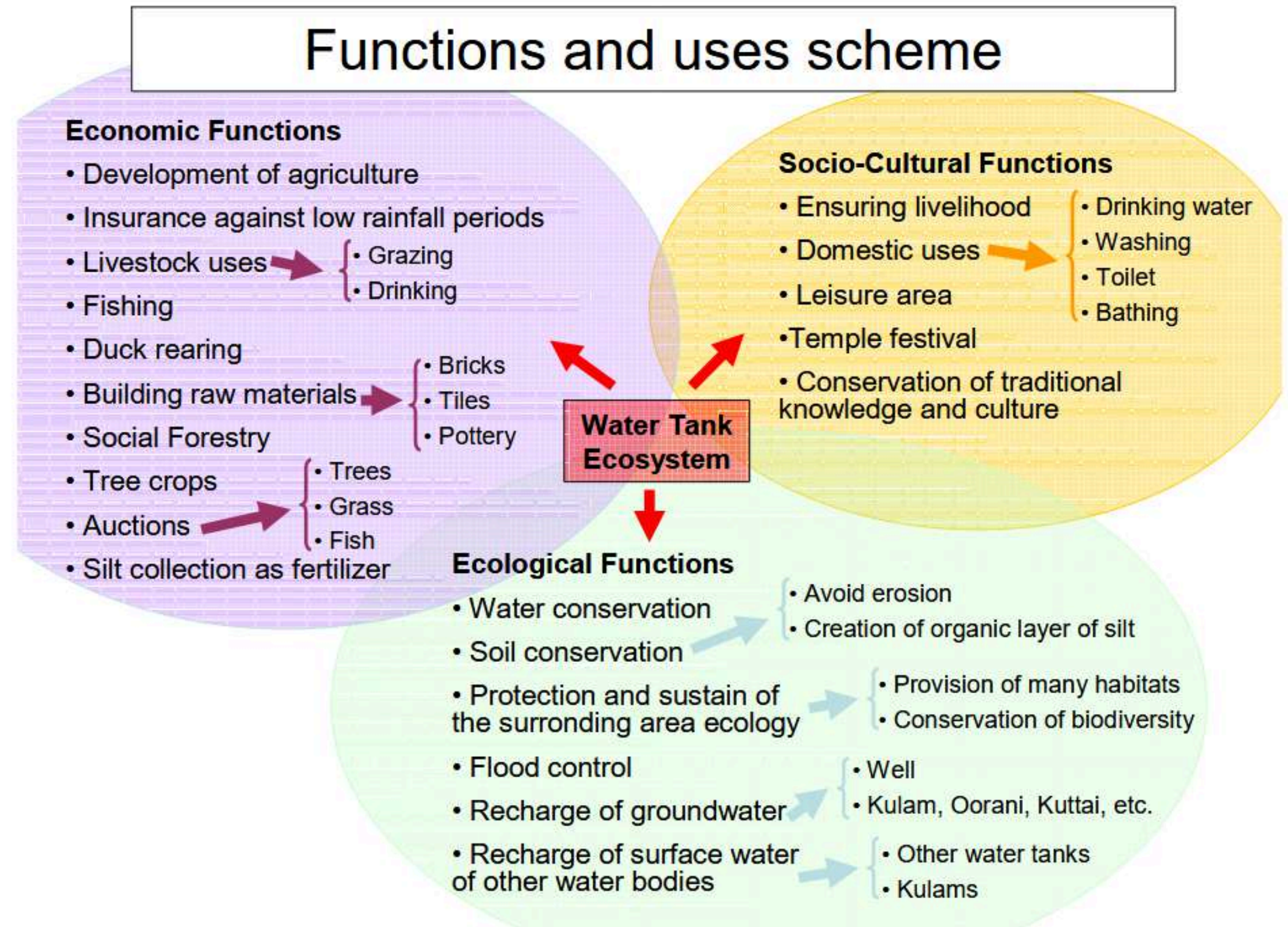
1- Water tanks monitoring

What are their functions ?

- Economic (agriculture, livestock...),
- Ecological (groundwater recharge, soil erosion prevention, flood prevention...)
- Socio-cultural (domestic use, leisure place...)

(Ariza, Galan, & Serrano, 2007)

(Palanisami, 2006)



1- Water tanks monitoring

What is remote sensing ?



Remote sensing is a technique that, through the acquisition, processing and interpretation of satellite images, allows obtaining information about the Earth's surface.



Raw images are obtained using energy acquired by sensors mounted on drones, airplanes or satellites.

(Government of Canada, 2025) (Geoconfluences, 2025).

1- Water tanks monitoring

Why mapping water tanks is interesting ?

- Support to water resource management
- Limitations of field measurements
 - Precise but often isolated and lacking spatial representativeness.
- Advantages of remote sensing
 - Frequent, large-scale, and long-term monitoring of environmental phenomena.

(Hardy, et al., 2019), (Pascal, 2022), (Van Dijk and Renzullo, 2011)

1- Water tanks monitoring

And how ?

- Sentinel 2 (optical) : rich images and spectral bands
- Sentinel 1 (radar) : not affected by climatic conditions

(Ottinger and al. 2021)

2- Common question and objectives

To what extent can open tanks constitute a sustainable solution to water issues in Tamil Nadu, at the time of climate change, agricultural pressure and socio-environmental changes?

- Knowledge of the existing operation (Tristan)
- Potential for extension (Alexis)
- Current relevance (Manon)
- Future resilience (Estelle)

2- Question (Tristan)

The central problematique is stated as follows:

How can tanks be identified and classified, and how can this information support recommendations for the rehabilitation of seasonal tanks ?

Hypothesis

The use of Sentinel-1 radar data makes it possible to distinguish between permanently filled tanks and seasonal ones. This classification, when compared with existing literature, can help identify potential areas for rehabilitation.

2- Objectives (Tristan)

The study aims to create a complete inventory of tanks in a specific area of Tamil Nadu. It will apply a spatio-temporal analysis to classify tanks based on their hydrological patterns. The project will also integrate local communities' perceptions based on literature.

Deliverables :

- A vectorised and complete list of water tanks
- An analysis impact of water tanks types on inhabitants
- A simple and reusable method

3- Study site / data (Tristan)

Study site : 14 cities close to Pondichery



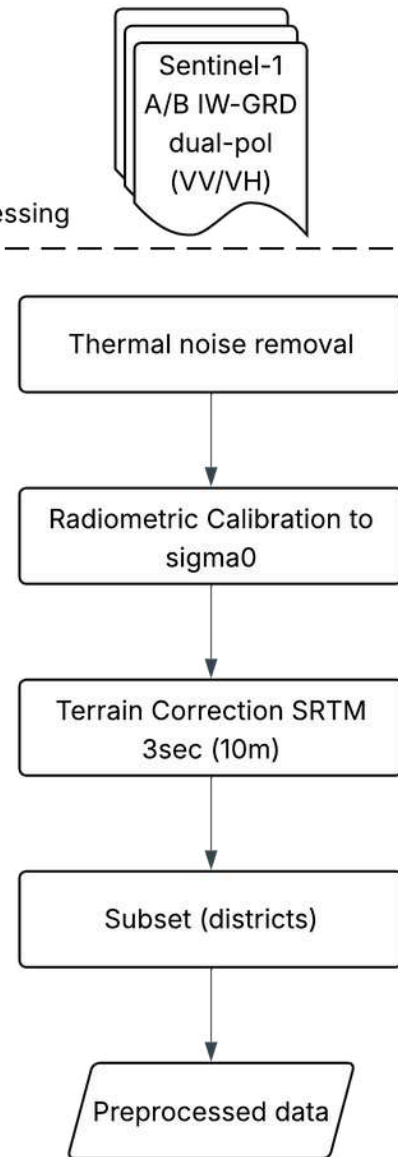
Data

- Sentinel 1 (2024), Geodes
- Vegetation map of India (Roy et al., 2015)
- Geofabrik riverbanks (2025)
- Open topography SRTM (2025)

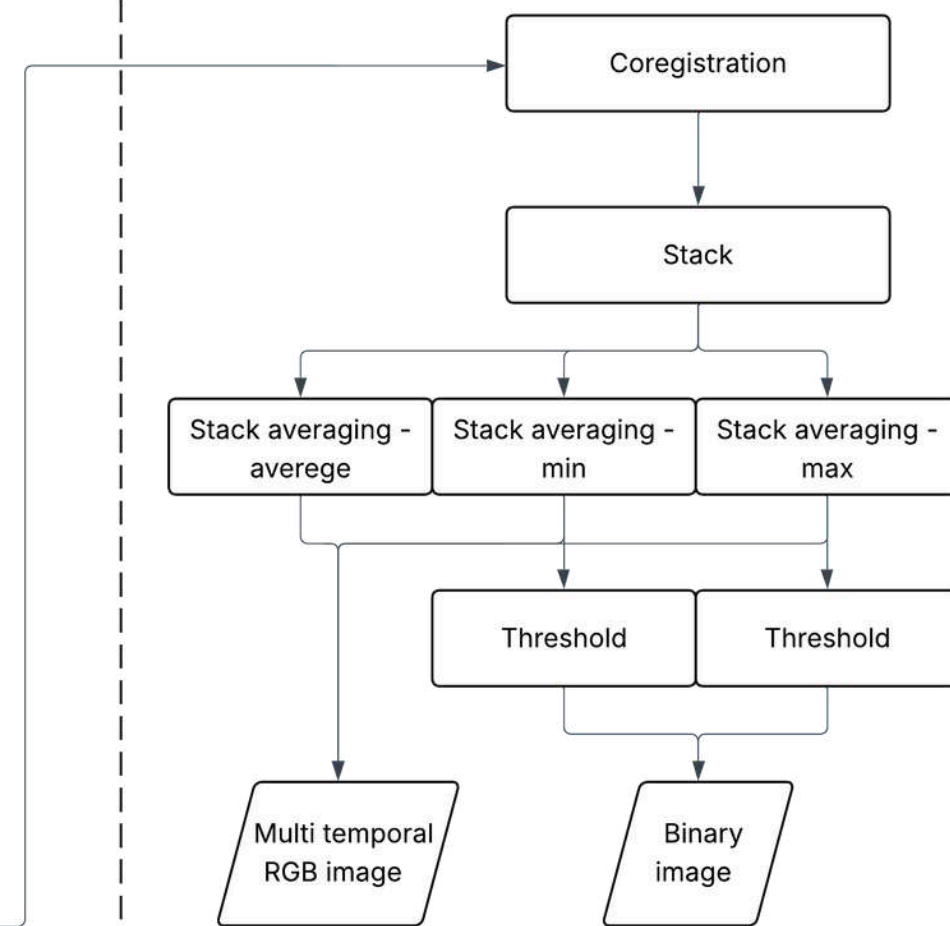
25 images

3- Method (Tristan)

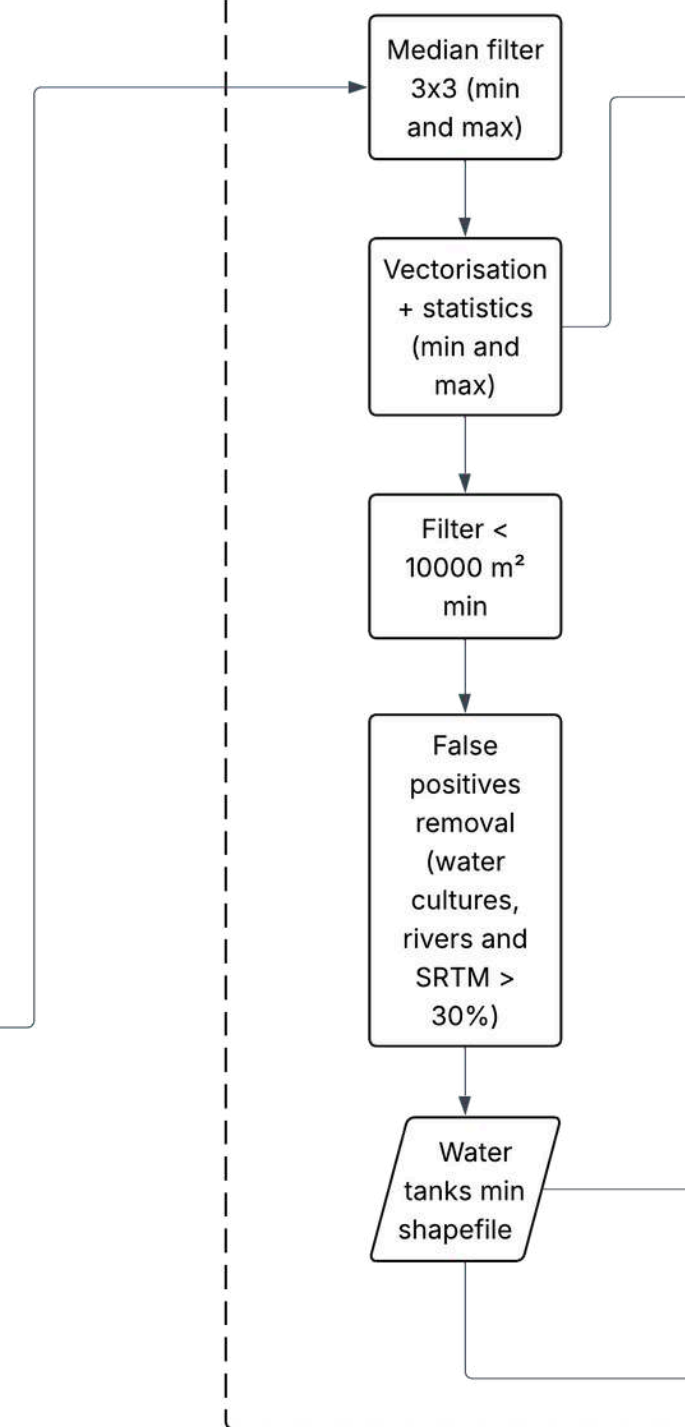
S1 - Preprocessing



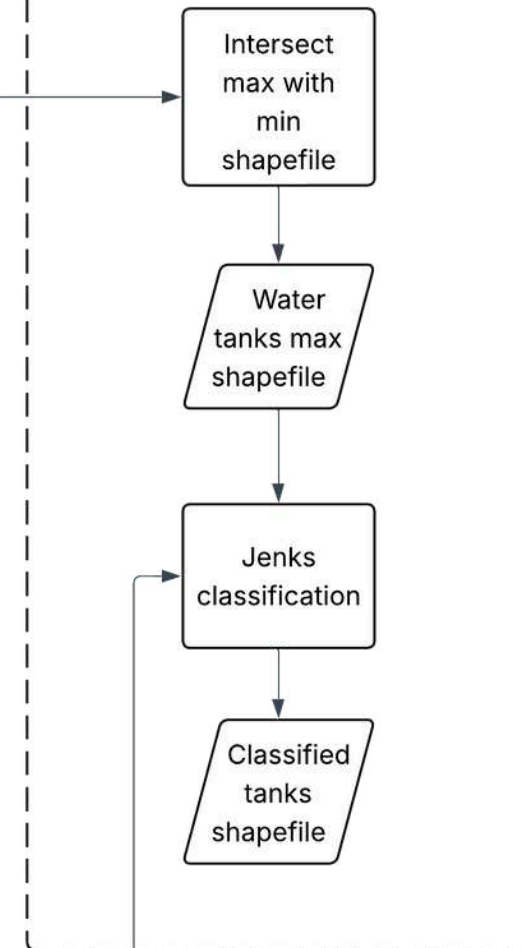
Multi temporal processing



Post processing



Classification

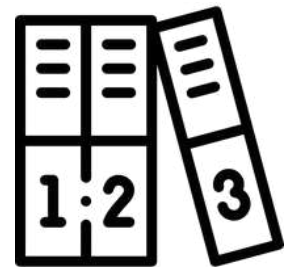


3- Method (Tristan)

Method overview



Find the tanks



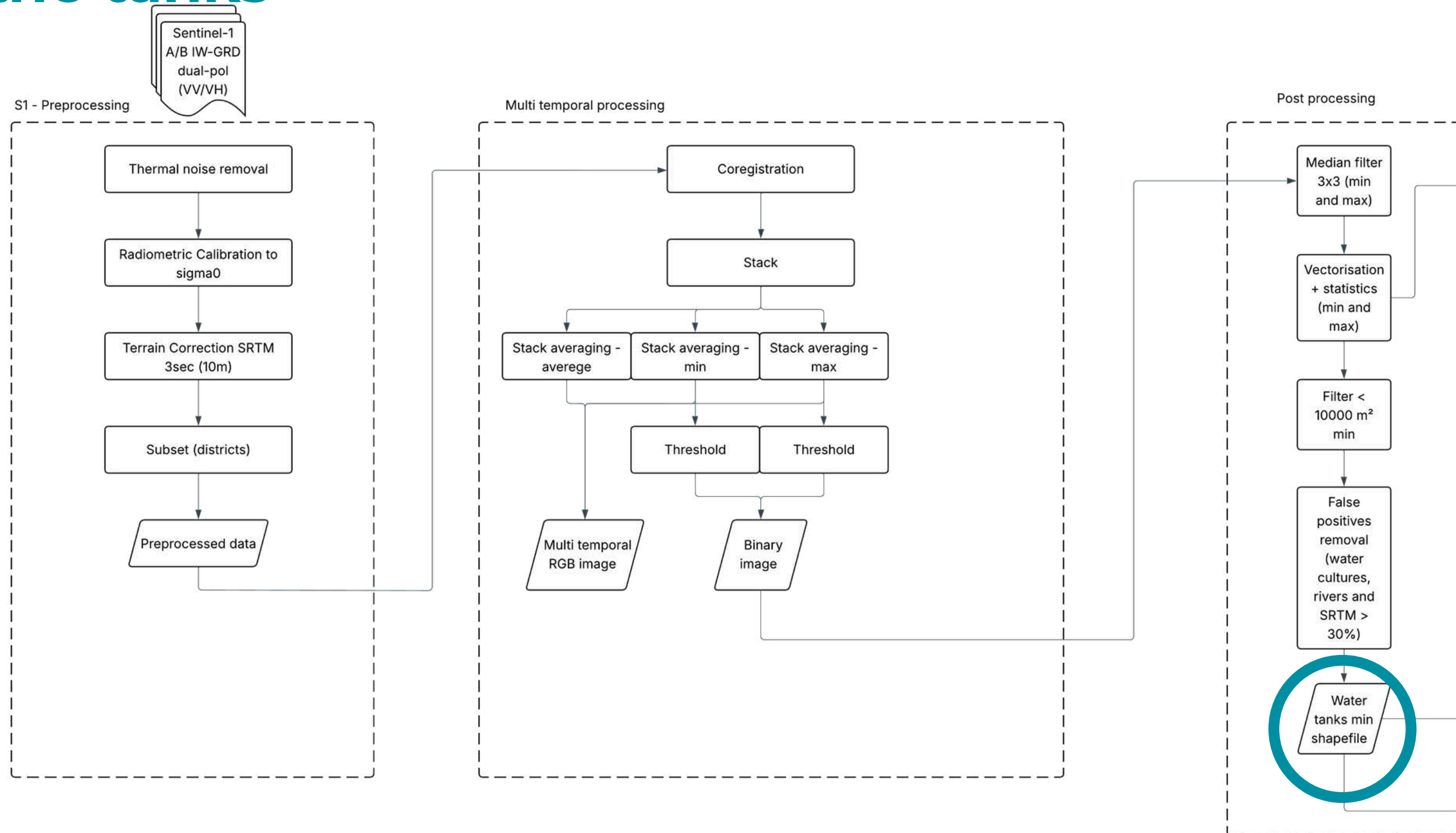
Classify the tanks



Make recommendations

3- Method (Tristan)

1. Find the tanks



3- Method (Tristan)

2. Classify the tanks

Always full tank

Seasonal tank

Key :

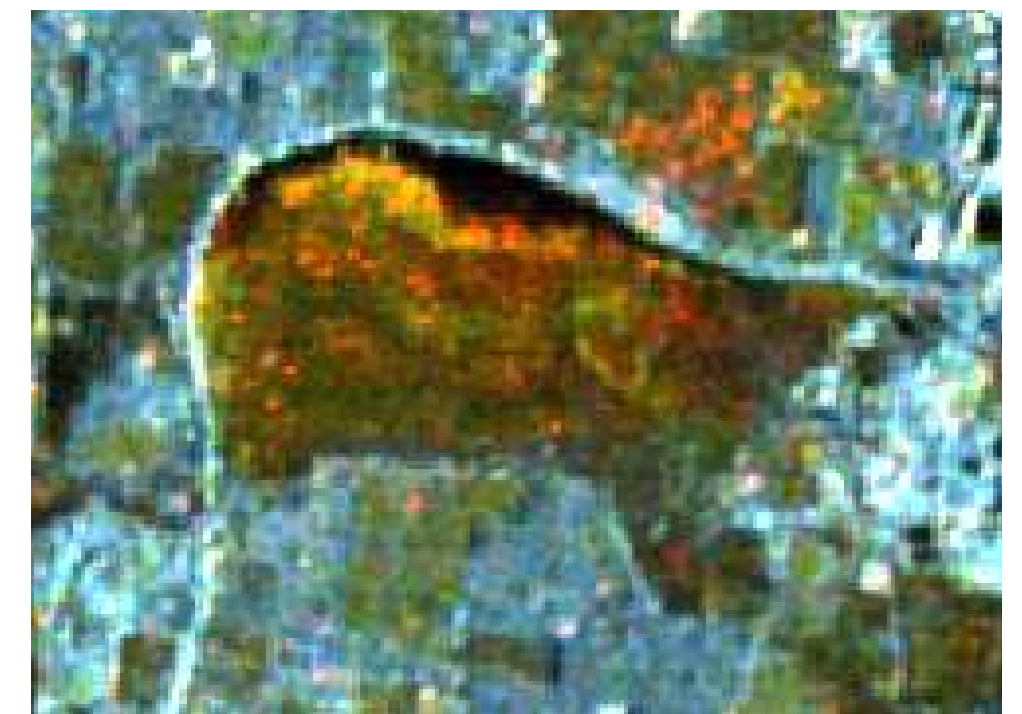
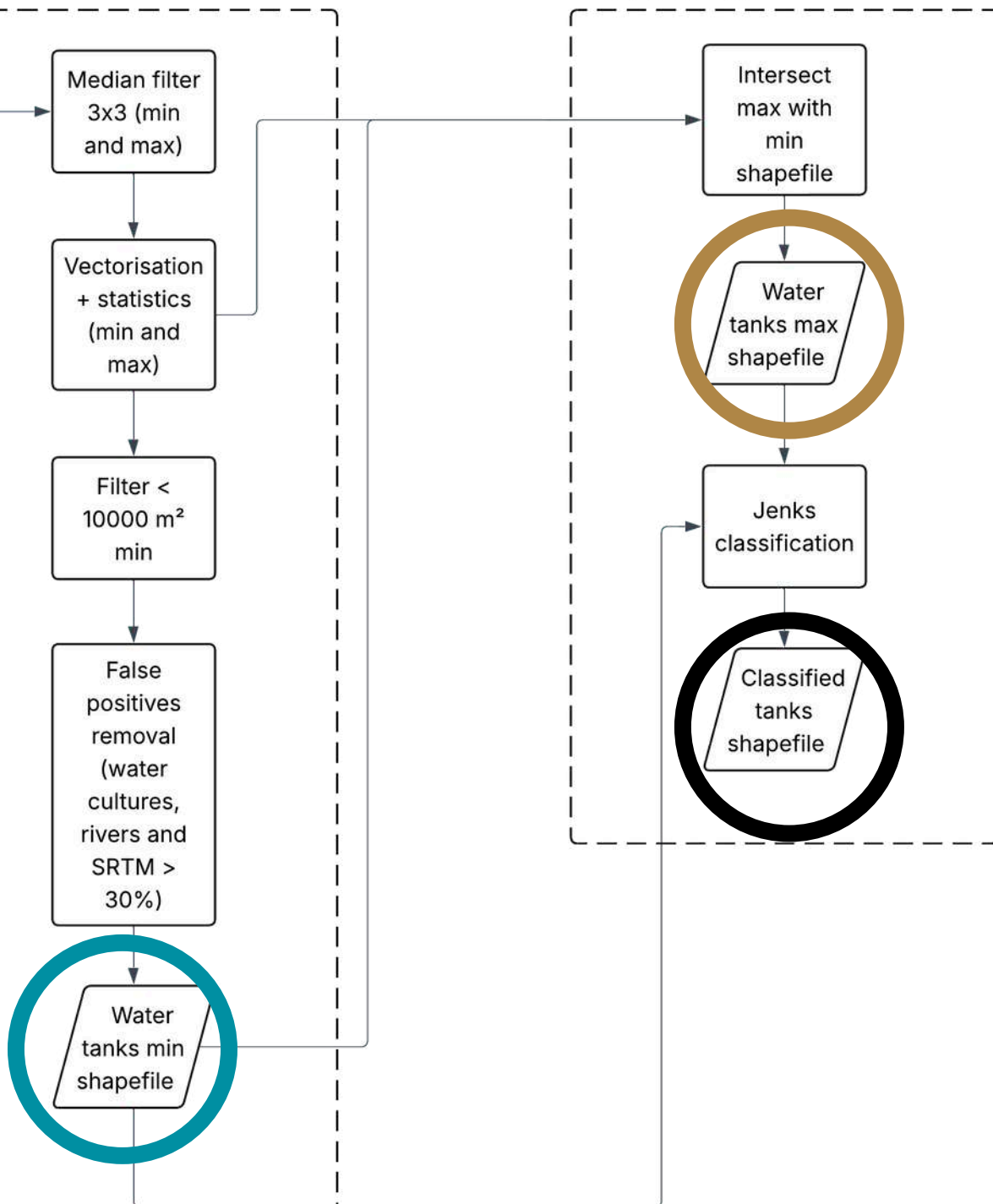
Red : max

Green : avg

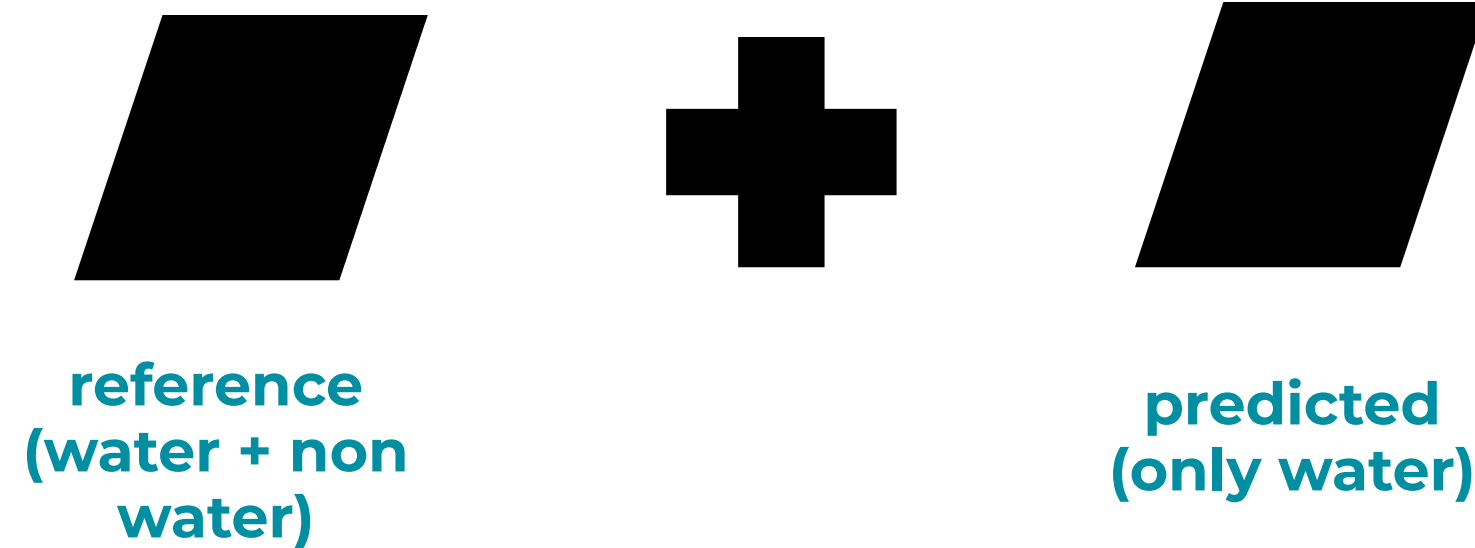
Blue : min

Post processing

Classification



3- Method (Tristan) and Validation



Kappa index : 0.74

Great, but not
enough to be
validated

3- Method (Tristan)

3. Recommendations

- **Extract qualitative data from literature**
- **Compare it with quantitative data**
- **Make recommendations with interpolation (IDW) map**



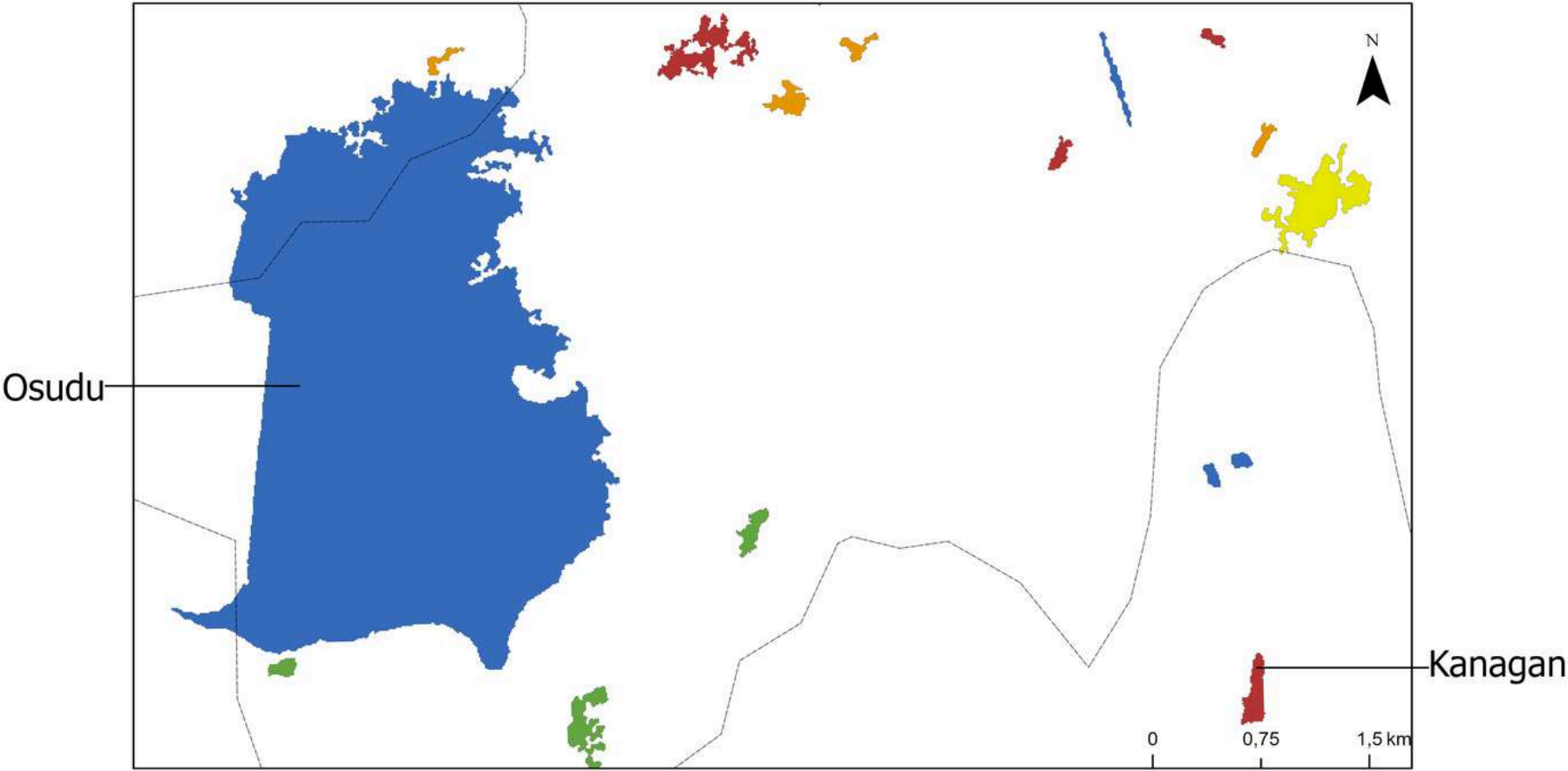
Tanks are :

- Valued when full
- Forgotten when dry
- Dry periods increase vulnerability
- Lack of institutional recognition

3- Results (Tristan)

Water tanks shapefile

Osudu et Kanagan



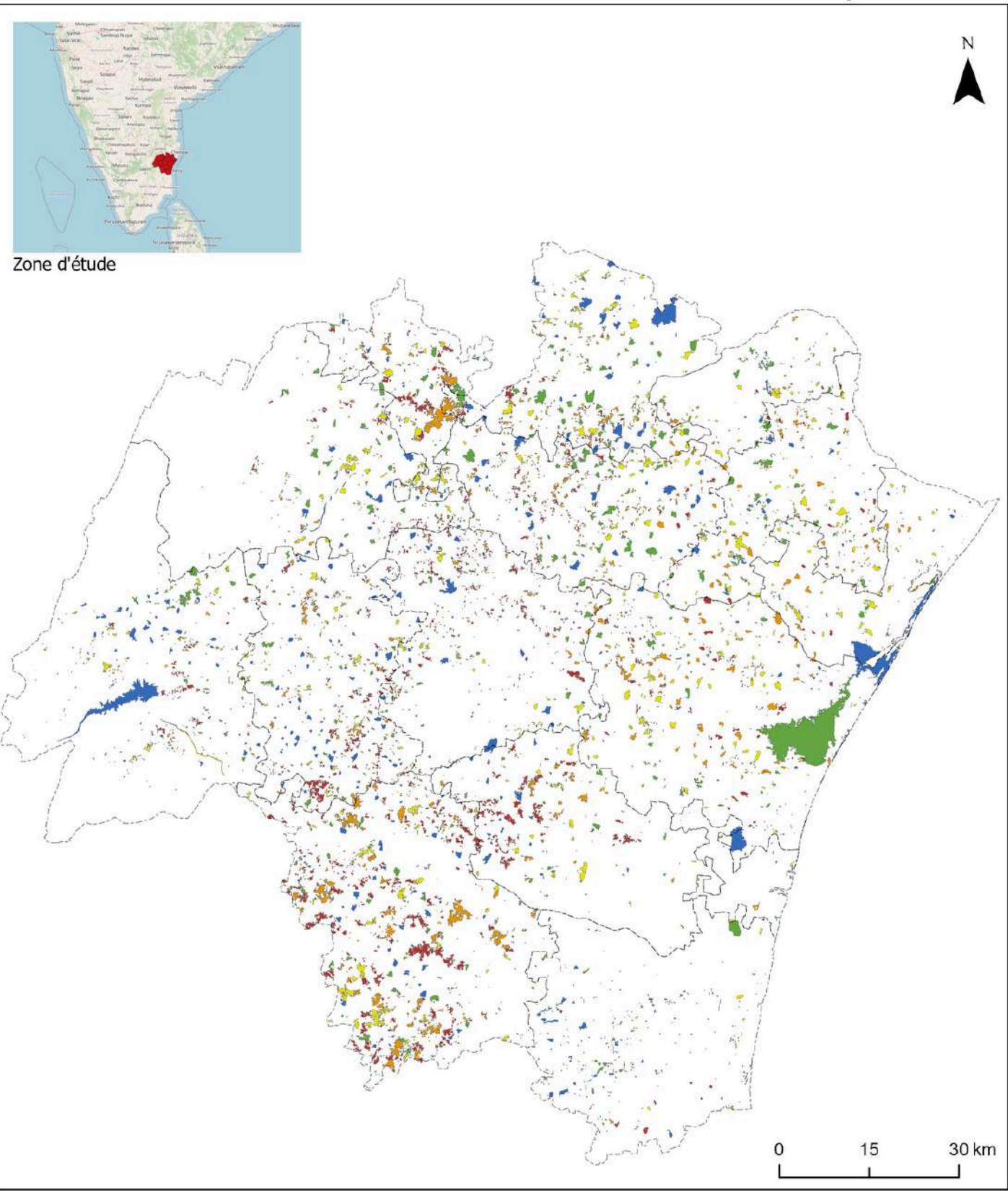
Diminution de la surface

0% - 25%
26% - 48%
49% - 69%
70% - 87%
88% - 100%

Crédits : Détection automatique par Tristan Le Pape

Données : Geodes, Open Topography, Geofabrik, Vegetation Map of India (Roy et al., 2015)

Réservoirs à ciel ouvert autour de Pondichéry



Diminution de la surface

0% - 25%
26% - 48%
49% - 69%
70% - 87%
88% - 100%

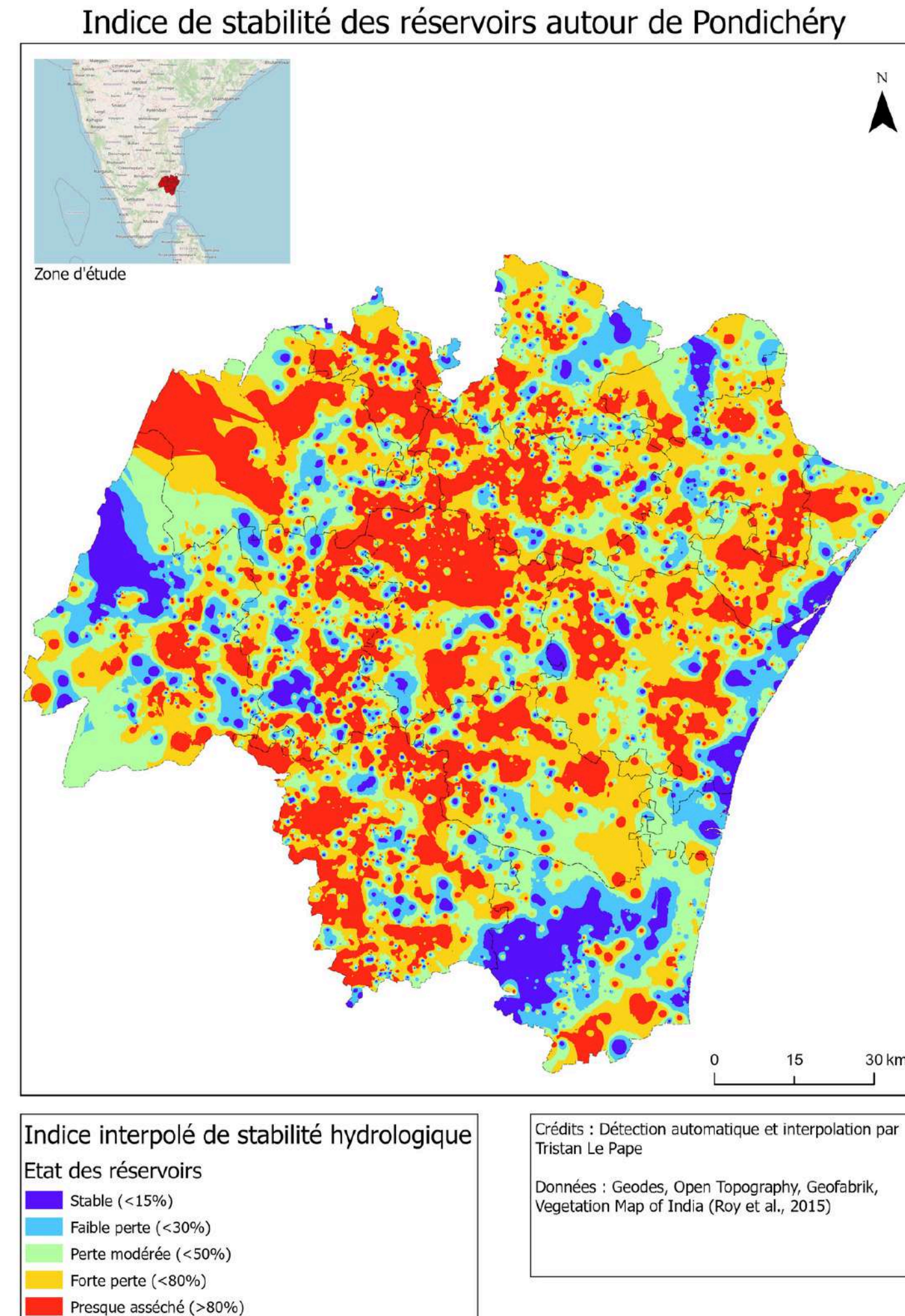
Crédits : Détection automatique par Tristan Le Pape

Données : Geodes, Open Topography, Geofabrik, Vegetation Map of India (Roy et al., 2015)

3- Results (Tristan)

Recommendations

Tanks in red zones should be prioritized for rehabilitation.



3- Limits and perspectives (Tristan)

- Otsu method does not work well with our image
 - Manual threshold → method not replicable
- Computer not enough powerfull
 - Sometimes processes are just not possible to run

-
- Field work would have been very rich and pertinent
 - Fix the Otsu failure

3- Discussions (Tristan)

Sentinel 2

- Replicable
 - Best Kappa index
- but**
- Highly affected by weather

Better suited for **punctual analysis**

Sentinel 1

- Independant from weather
- but**
- Not replicable (Otsu method failed)

Better suited for **temporal analysis**

2- Question (Alexis)

Central question

Based on the historical usage of these tanks, their current distribution, and the negative impacts of groundwater pumping. How can new tanks be strategically implemented?

Objective

Analyze reservoir siting based on hydrological, topographical, and socio-environmental criteria, in order to identify potential new sites.

Hypothesis

Optimal reservoir locations can be determined using three main variables: the quantity of available water, terrain slope, and soil impermeability.

3- Study site (Alexis)

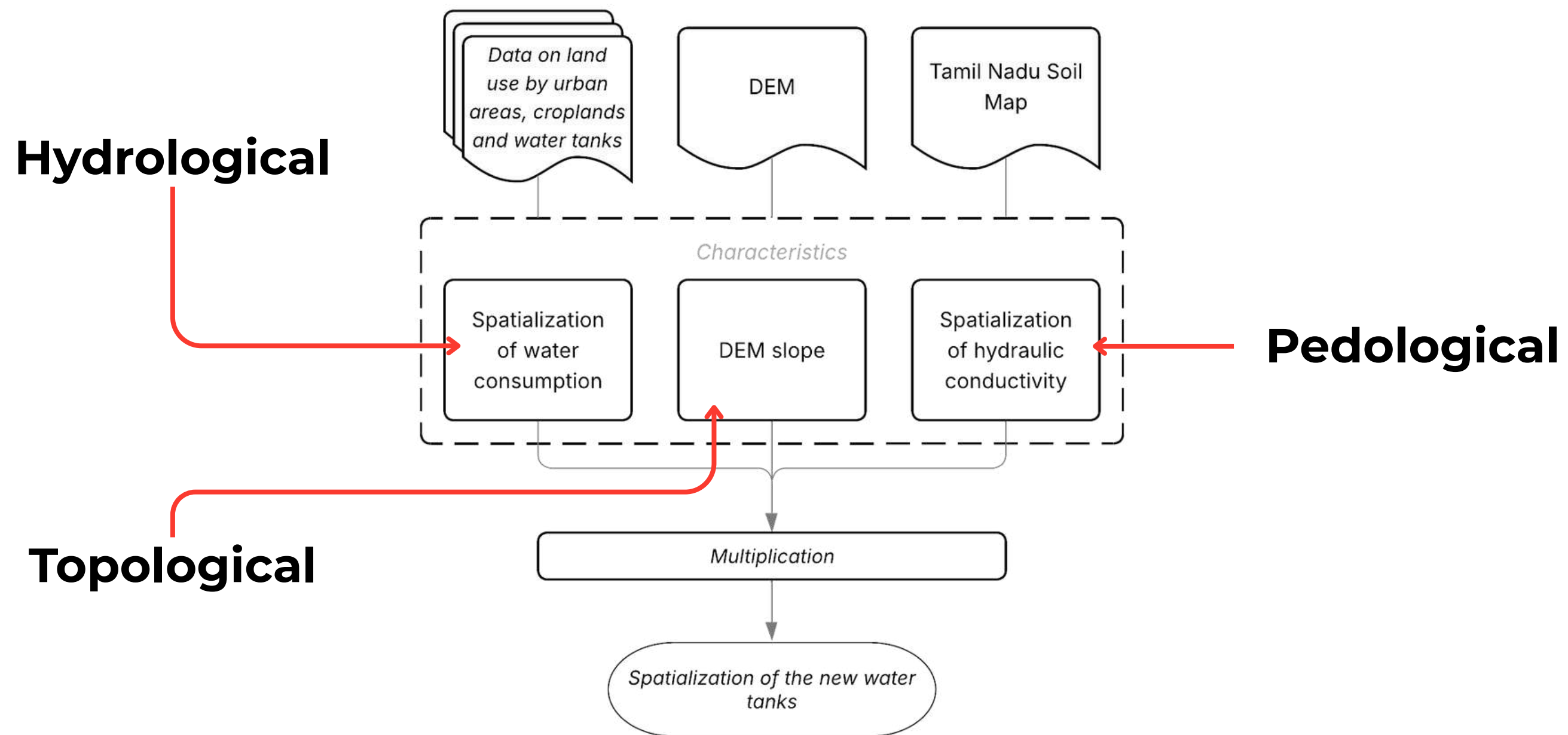
The same study area as Tristan



4- Data (Alexis)

Name	Sources	Year	Objective	Link
Shapefile of tanks	LE PAPE	2024	Estimate the storage capacity of the tanks	
Shapefile of urban areas	Géofabrik	2025	Estimate the water consumption of urban areas	https://download.geofabrik.de/
Land use	ESA	2021	Estimate the consumption of agricultural areas	https://esa-worldcover.org/en
Digital elevation model (DEM)	Copernicus 30	2015	Take the topology into account	https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTSDEM.032021.4
NBSS Map	ESDAC	1996	Take the soil condition into account	

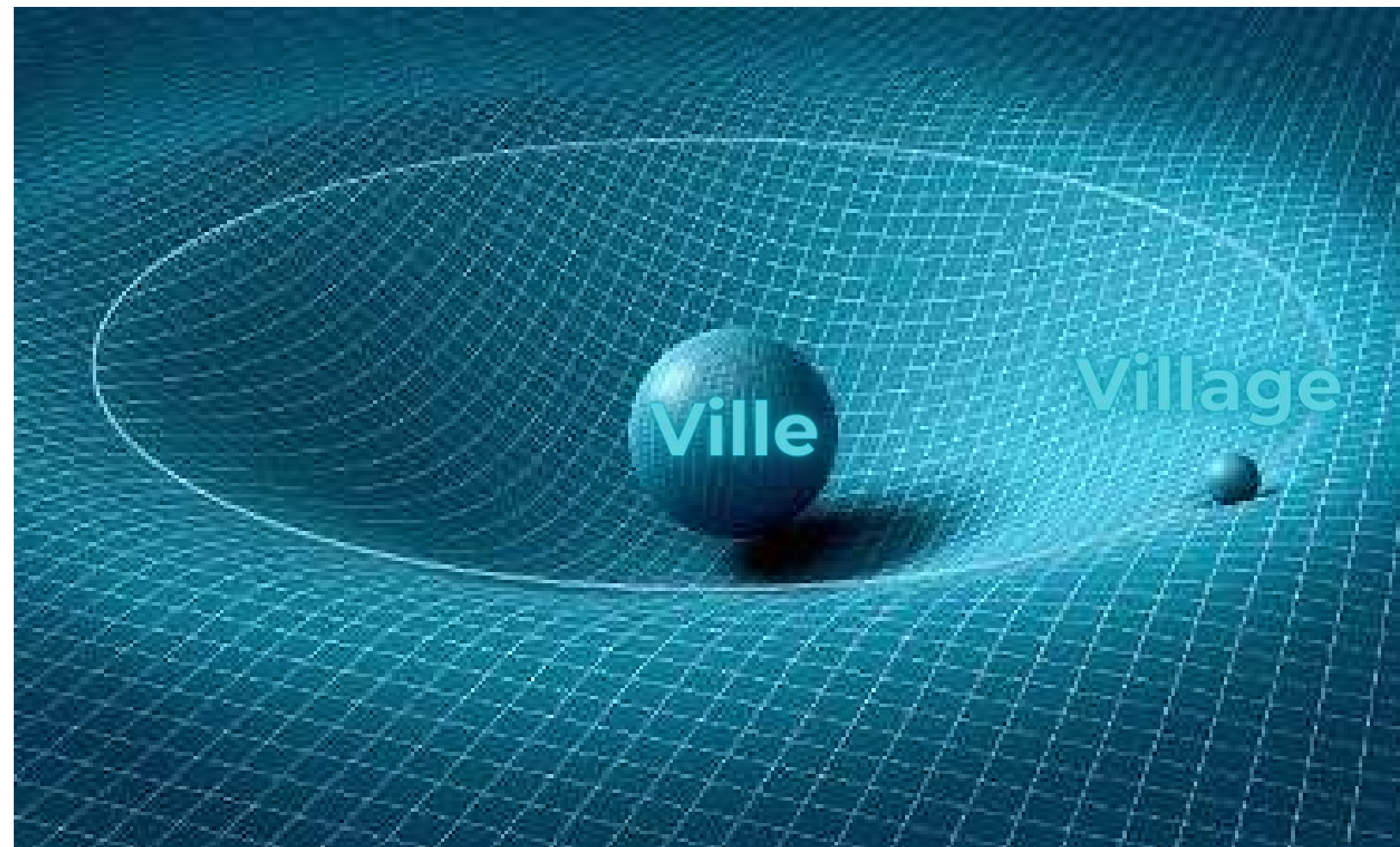
3- Method (Alexis)



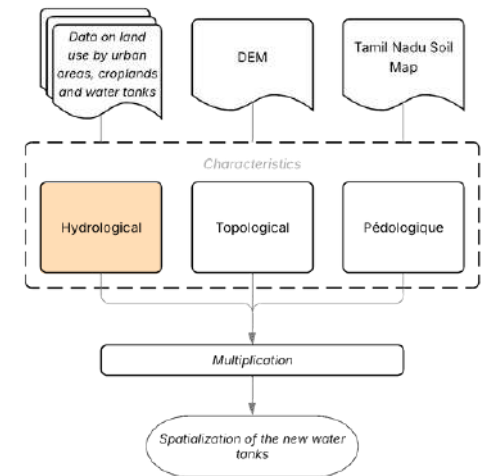
3- Method (Alexis)

Spatialization of water consumption

Analogy with a gravitational model to represent the pressure exerted by water consumption in the region



Attractor = water-consuming area
Repulseur = zone storing water

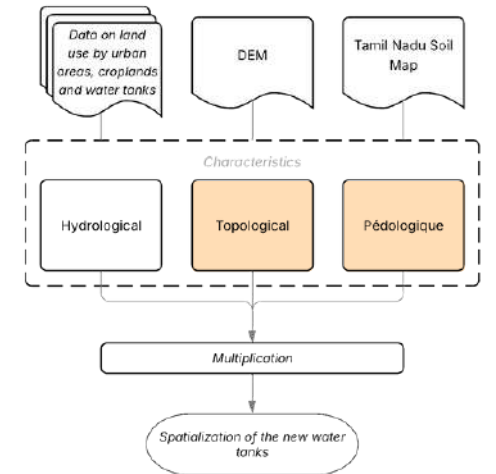
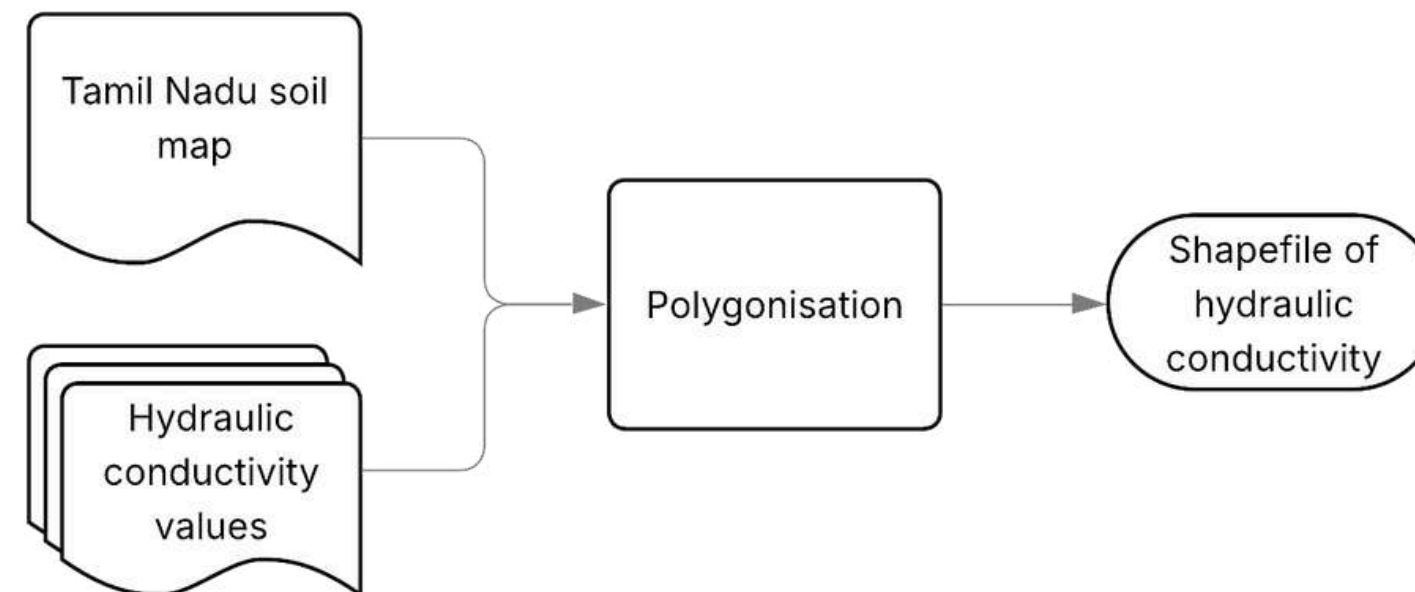


3- Method (Alexis)

Determination of the slope

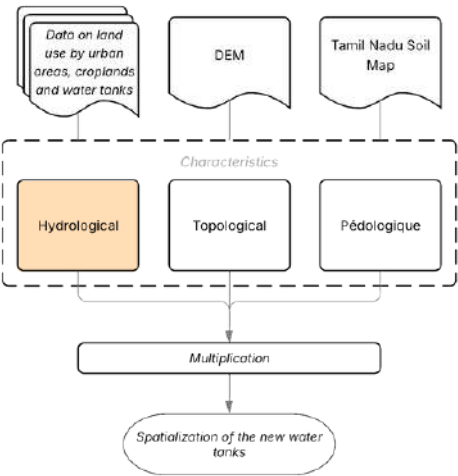


Spatialization of hydraulic conductivity

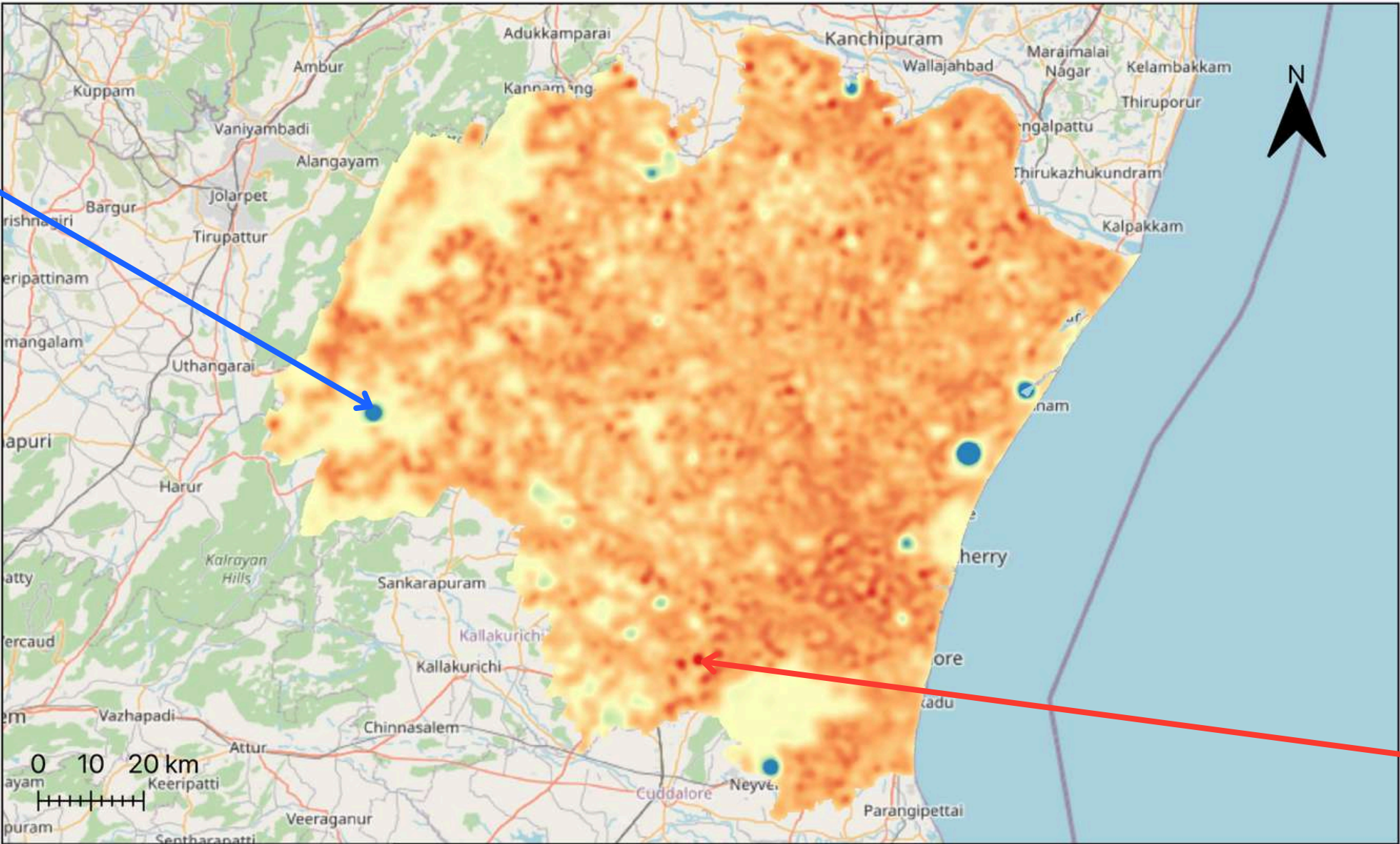


3- Results (Alexis)

Spatialization of water consumption

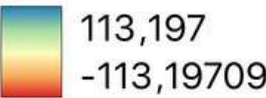


Water storage



Légende :

Quantité d'eau en m3

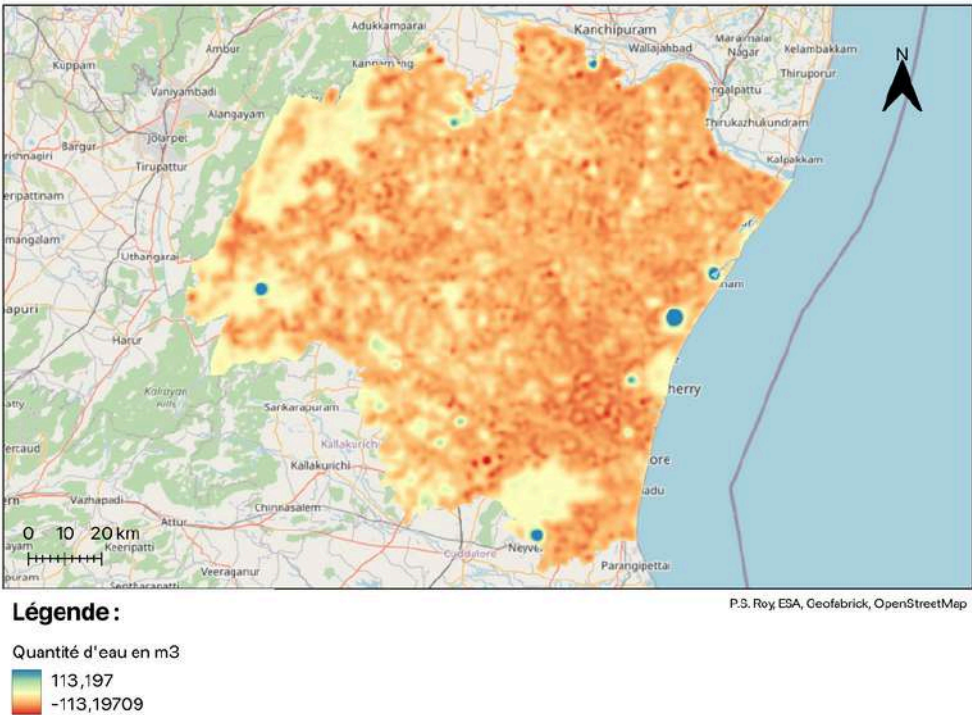


Need water

P.S. Roy, ESA, Geofabrick, OpenStreetMap

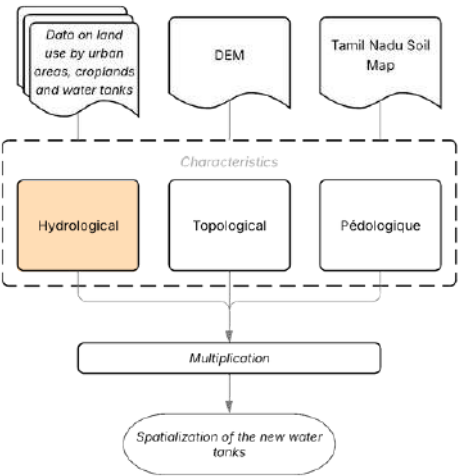
3- Results (Alexis)

Spatialisation of water consumption



	Agricultural Area	Urbain Area	Water Tank
Volume	6,800,000,000 m3	780,000,000 m3	830,000,000 m3

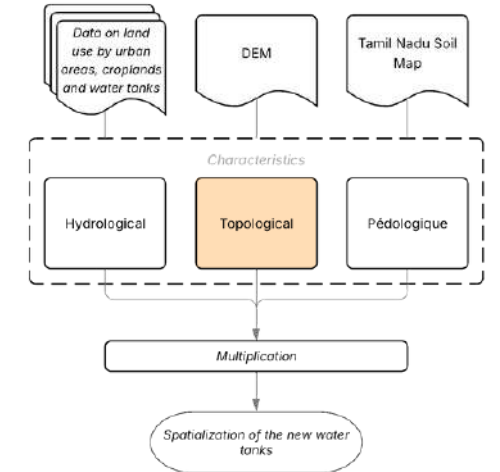
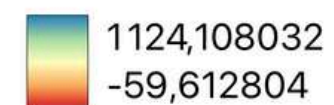
Order of magnitude coherent → around 85- 90% of water use in India goes to agriculture



Determination of the slope

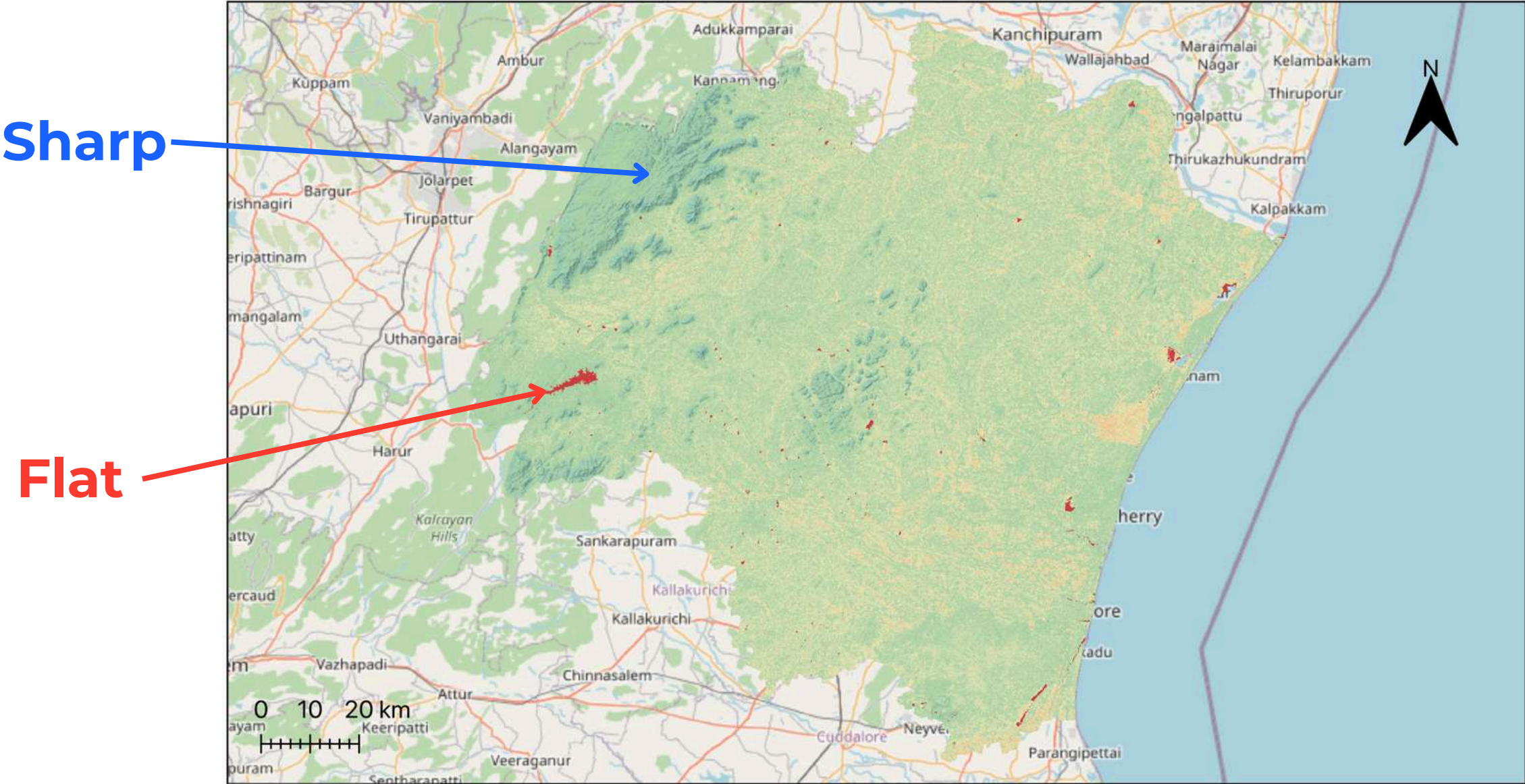


Altitude en m

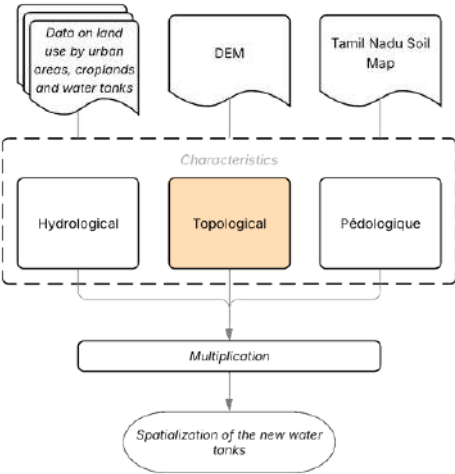


3- Results (Alexis)

Determination of the slope



Légende :

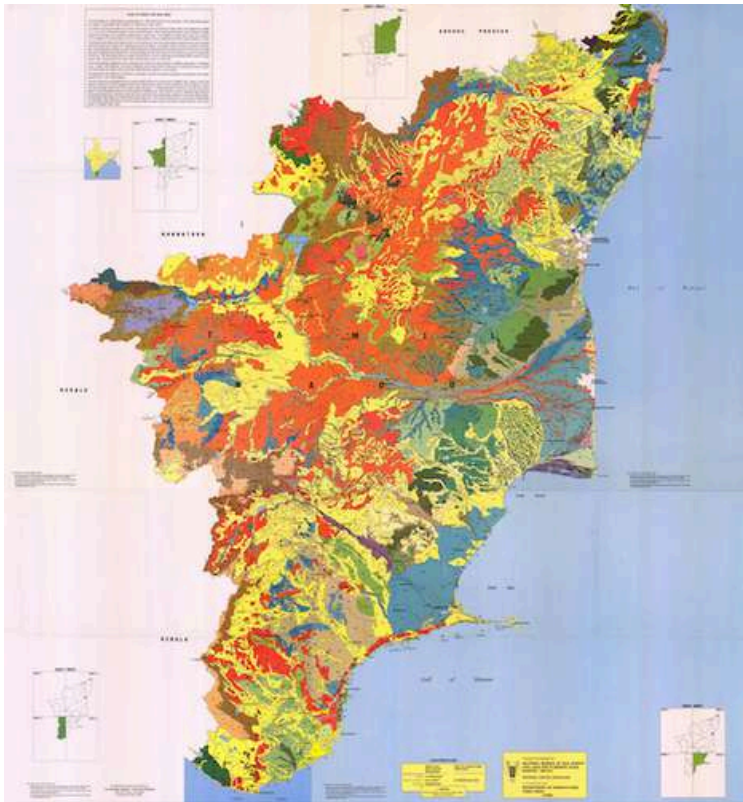


Copernicus 30

3- Results (Alexis)

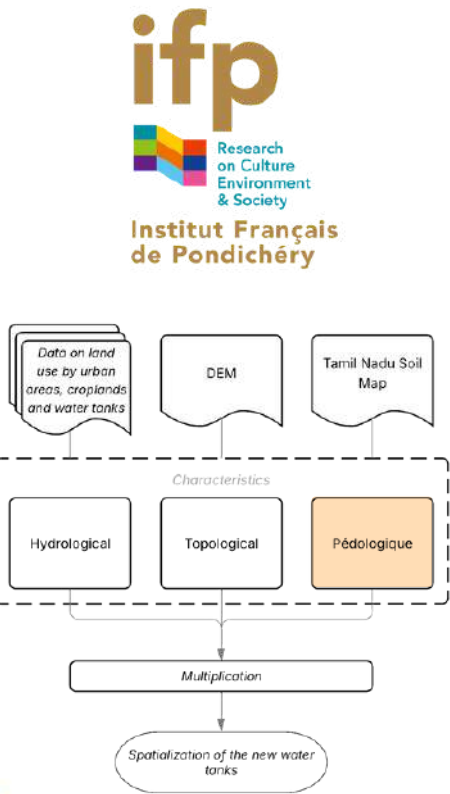
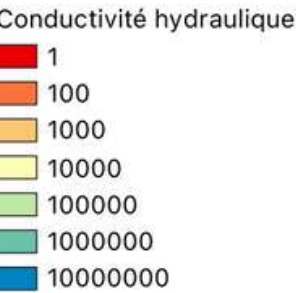
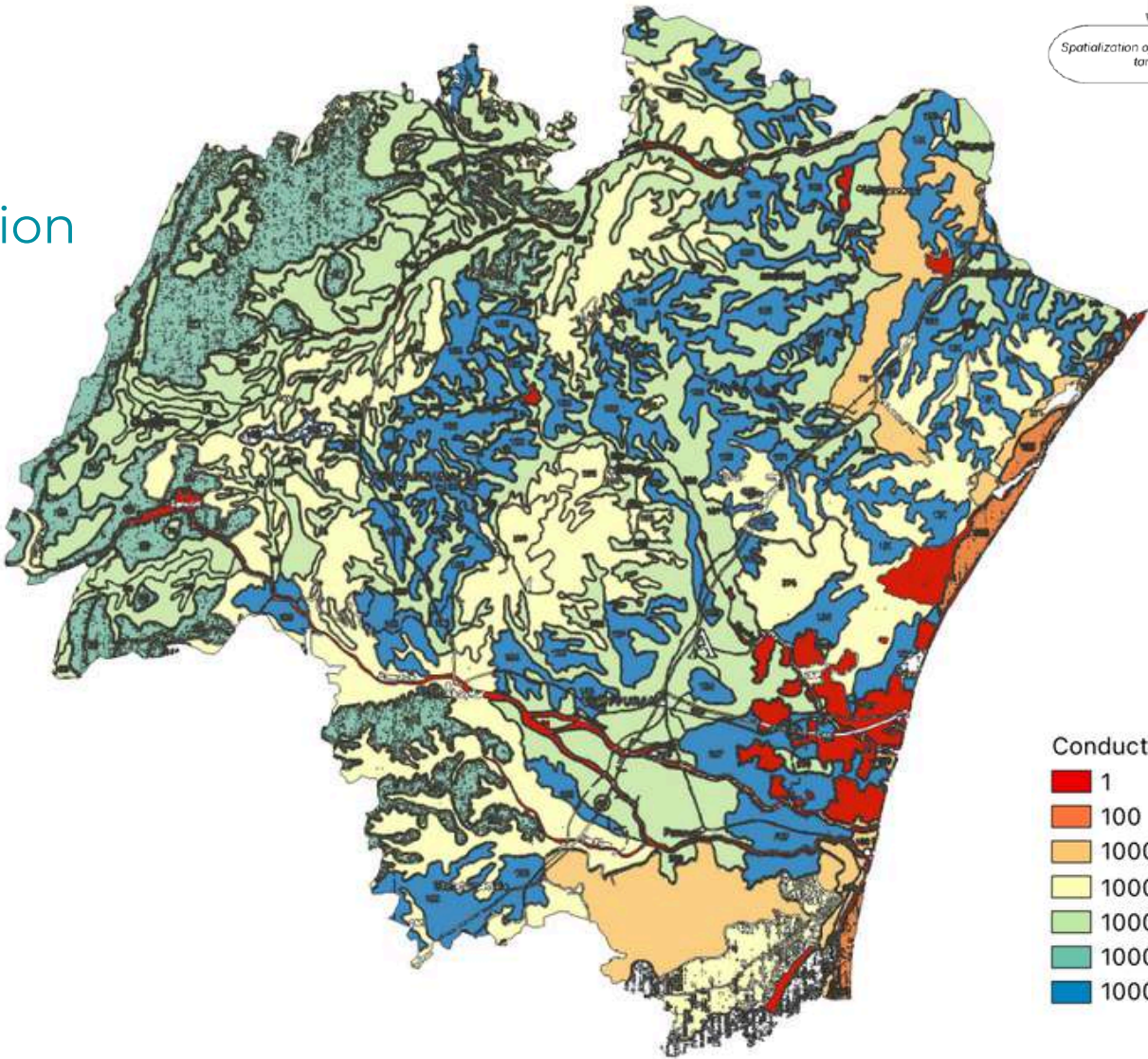
Spatialization of hydraulic conductivity

Type de sol	Conductivité hydraulique (K, en m/s)	Source
Sol rouge (Red loam)	1×10^{-5} à 1×10^{-4}	Bouwer (1978), TNAU, USDA Soil Taxonomy
Sol noir (Black cotton soil / Regur)	1×10^{-8} à 1×10^{-6}	BIS 1987; Das, B.M. (2008) Principles of Geotechnical
Sol brun (Brown soil)	1×10^{-6} à 1×10^{-5}	NBSS-LUP reports; TNAU
Sol alluvial	1×10^{-4} à 1×10^{-3}	Todd & Mays (2005), FAO, Central Groundwater Board
Sol latéritique	1×10^{-6} à 1×10^{-4}	Ghosh (1971), FAO Soil Bulletin
Sol sableux côtier	1×10^{-3} à 1×10^{-2}	TNAU; Freeze & Cherry (1979)
Sol gris / salin (coastal saline)	1×10^{-6} à 1×10^{-5}	FAO Irrigation & Drainage Paper 56
Sol silteux / limoneux	1×10^{-7} à 1×10^{-5}	Rawls et al. (1982), USDA
Sol argileux (compact)	1×10^{-9} à 1×10^{-7}	Das (2008), Bouwer (1978), Central Ground Water Board
Sol mixte (sable-argile)	1×10^{-6} à 1×10^{-4}	TNAU & NBSS-LUP; Rawls et al.



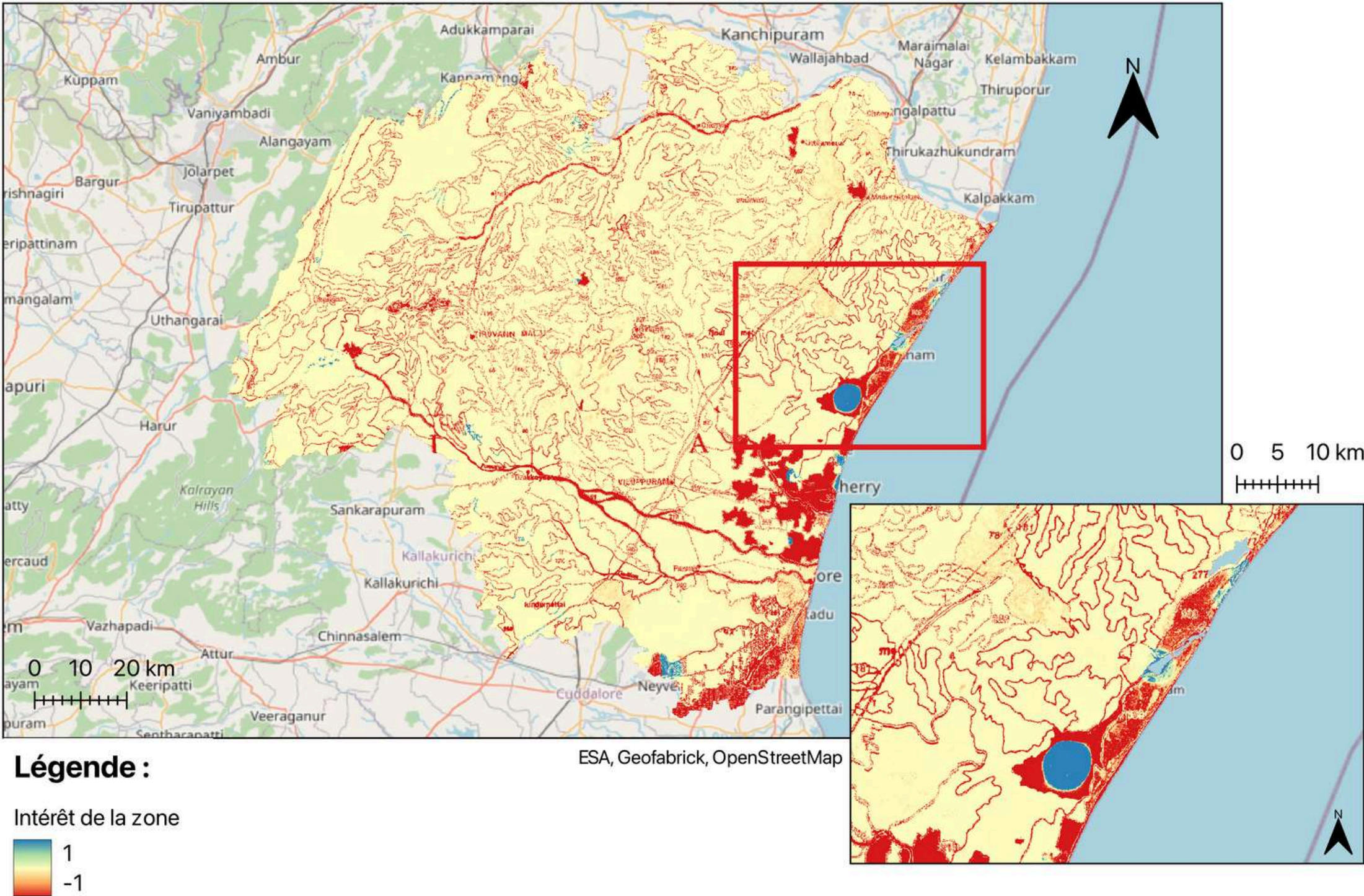
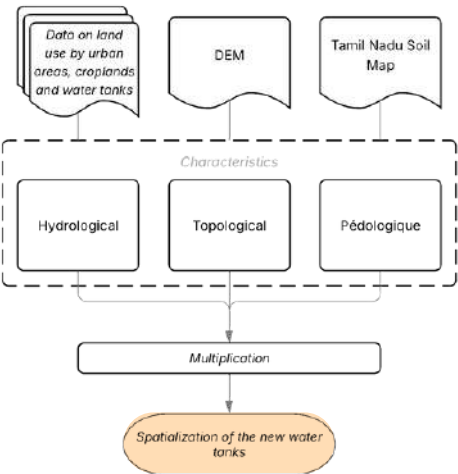
Tamil Nadu Soil map NBSS – ESDAC

Polygonisation

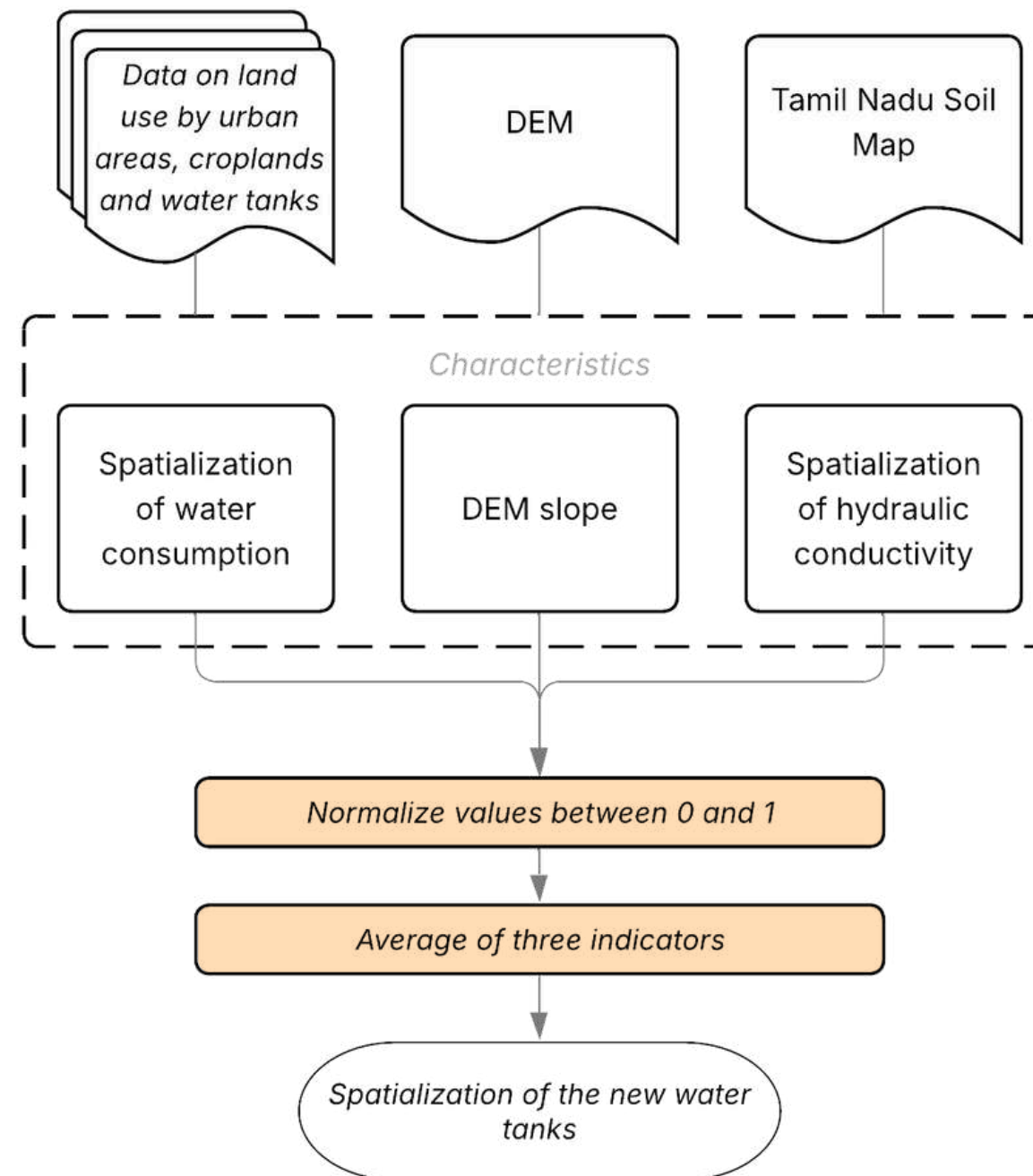


3- Results (Alexis)

Spatialization of hydraulic conductivity



3- Method (Alexis)



3- Limits and perspectives (Alexis)

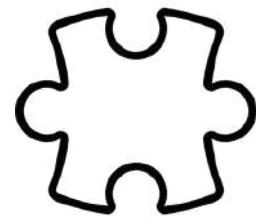
Limits :

- The estimations give orders of magnitude
- The Gaussian filter can smooth out some important local variations..
- Limited expertise in pedology.

Perspectives :

- A better soil map would greatly improve the results
- The model can be refined according to local contexts
- Conduct a field validation of the identified sites near

2- Question (Manon)



Central question

To what extent can open tanks meet current irrigation needs — considering catchment hydrology, rainfall, and agricultural use in Tamil Nadu?



Hypothesis

Open tanks in Tamil Nadu provide a significant source of irrigation water.

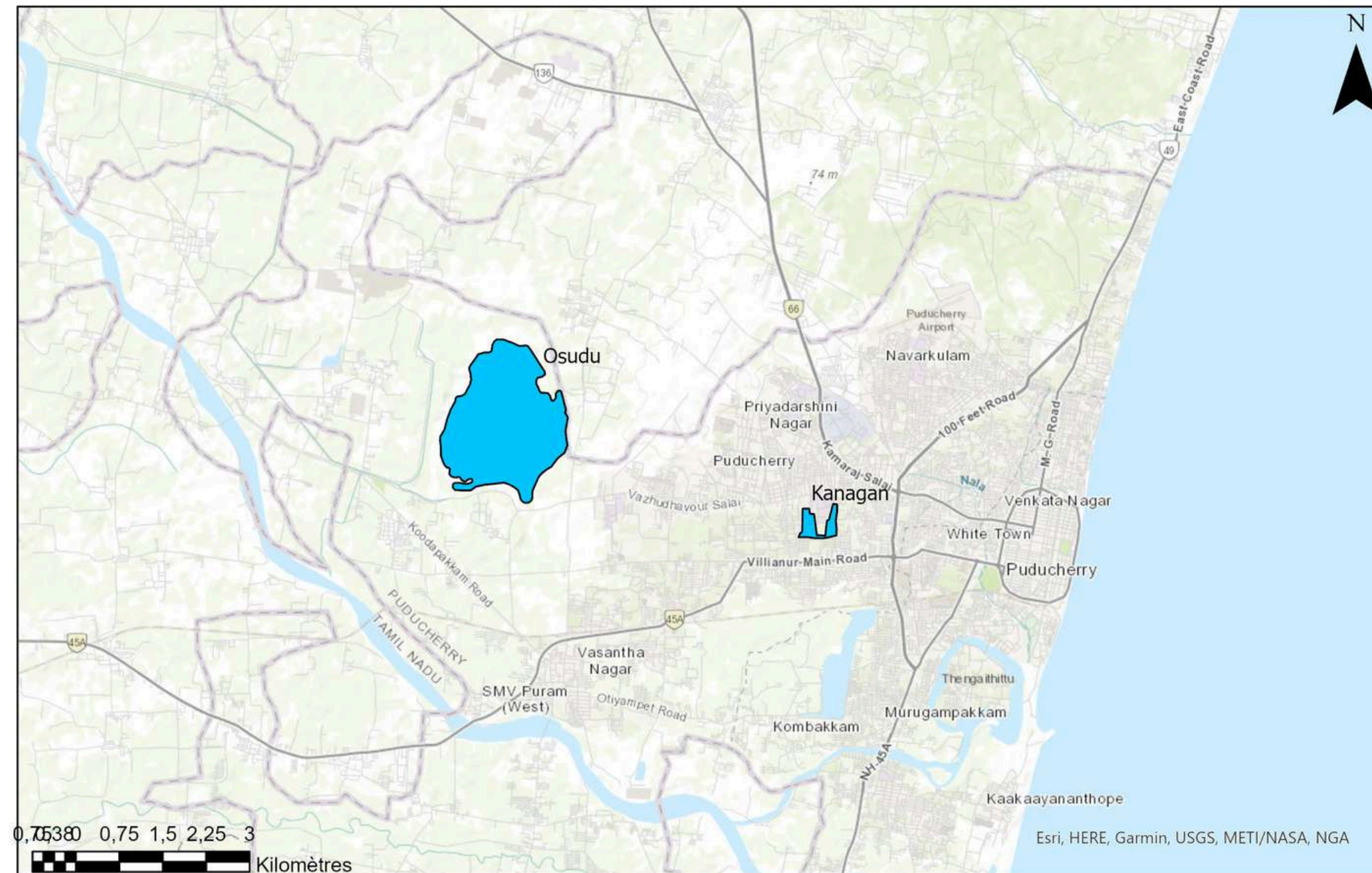


Objective :

Assess the relevance of reactivating open tanks by evaluating their ability to capture rainfall, store water and support agricultural irrigation

3- Study site (Manon)

Terrain d'étude : Réservoirs Osudu et Kanagan



Légende

■ Réservoirs

3- Data (Manon)

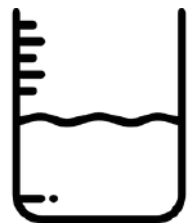
	Sources	Years	Objective	Link
Sentinel-2 images	Géodes CNES	2024	Measure the surface of tanks using remote sensing	https://geodes-portal.cnes.fr/
Annual rainfall	TN Smart	2023 2024	Determine the hydrological response	https://beta-tnsmart.rimes.int/index.php/Rainfall/daily_data
Global rainfall	CHIRPS	1995- 2014	Determine the average incoming volumes	https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps
Digital Elevation Model	Copernicus 30	2015	Determine the watersheds of reservoirs and the influence of slope on runoff	https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTSD-EM.032021.4326.3
Land cover	ESA, Sentinel-1 et Sentinel 2	2021	Evaluate land use and its impact on hydrological responses	https://esa-worldcover.org/en

3- Method (Manon)

Method overview



Hydrological response



Volume of incoming water



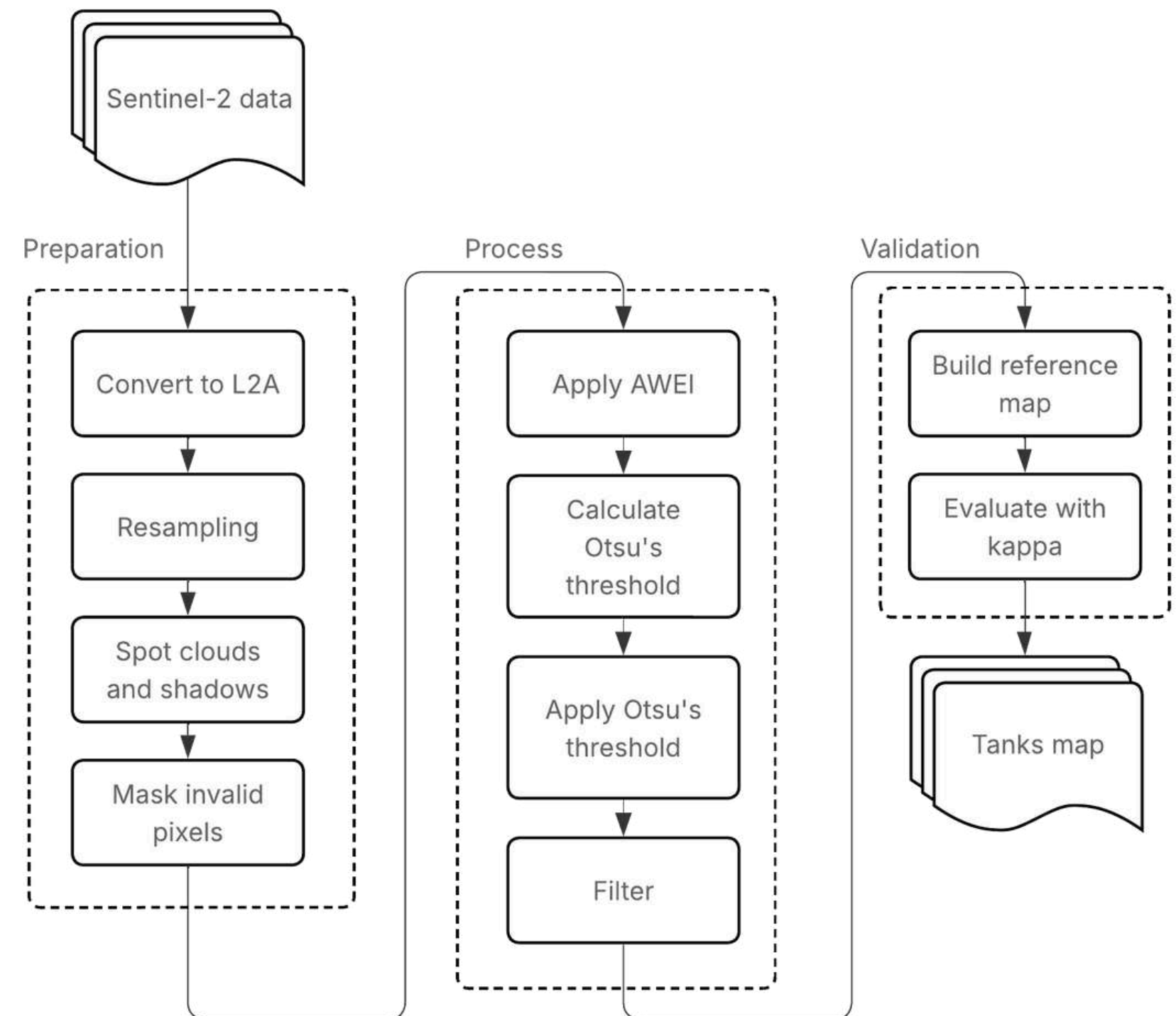
Agricultural practices

3- Method (Manon)

Hydrological response

The area of the tanks are extracted from the processed optical Sentinel-2 data. —————>

The evolution of **rainfall** and **water surface** are compared using a **Pearson correlation analysis**, with different time lags (from 0 to 4 months).

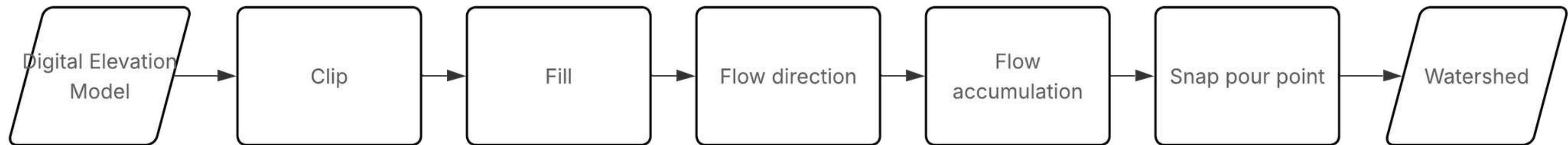


3- Method (Manon)

Volume of incoming water

*Rainfall * Surface * Runoff*

Surface



Rainfall

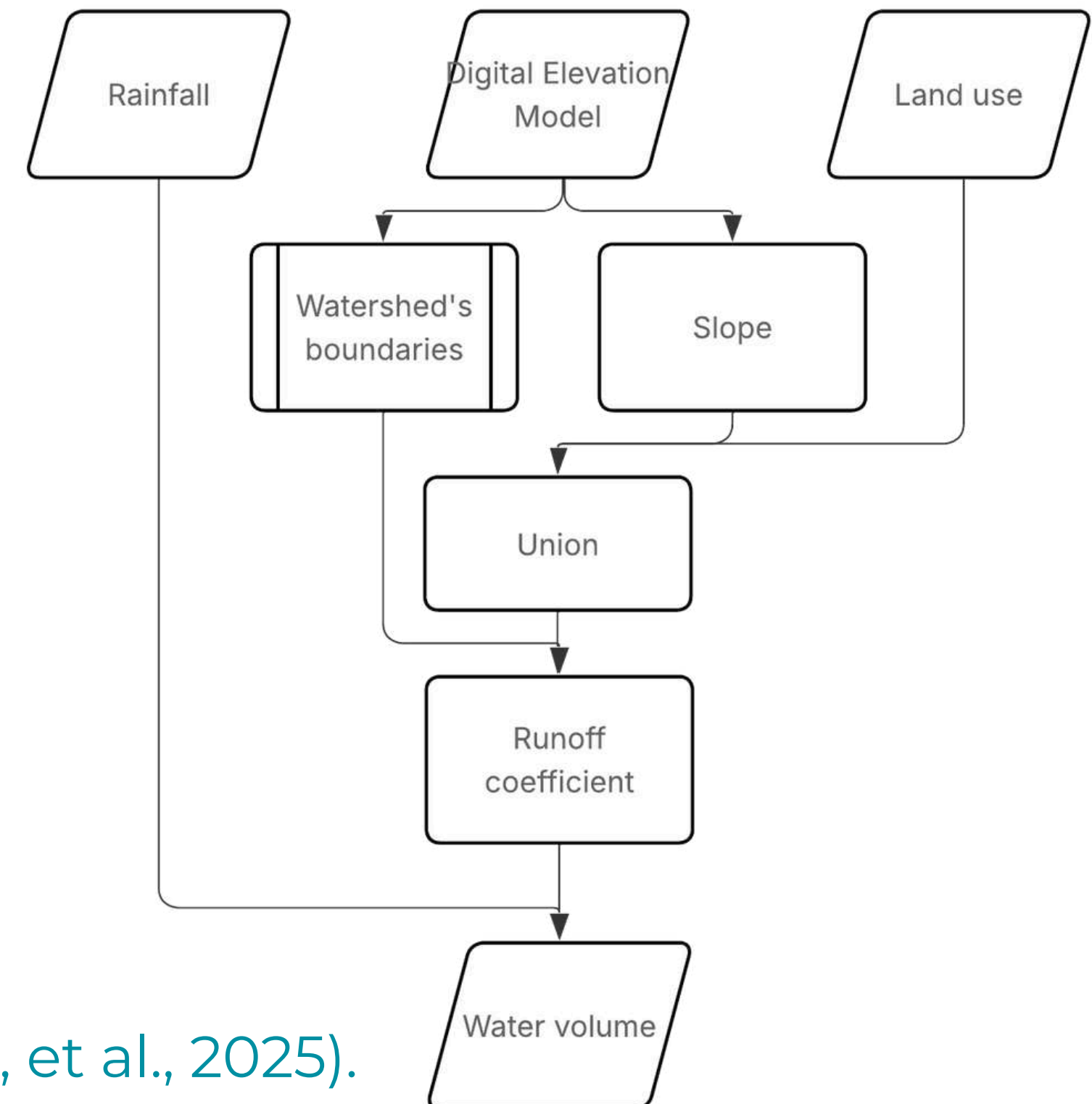
CHIRPS data (extracted by Estelle), average rainfall during 20 years

3- Method (Manon)

Volume of incoming water

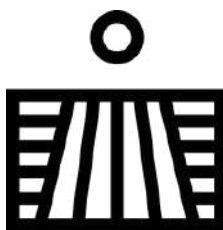
Runoff

		Slope (%)		
		<5	5 – 15	>15
Land cover	Forest	0,02	0,07	0,15
	Shrubland	0,10	0,20	0,40
	Grassland	0,10	0,25	0,50
	Copland	0,045	0,13	0,29
	Built-up	0,90	0,90	0,90
	Bare / sparse vegetation	0,20	0,25	0,45
	Permanent water body	0	0	0
	Herbaceous wetland	0,05	0,05	0,05



3- Method (Manon)

Identification of agricultural uses and needs



Field survey

A field survey is conducted within a 1 km buffer around each tank. The area was divided into 500 x 500 m grid cells to allow systematic sampling. Each cell was visited, and the dominant and secondary crop types were recorded.



Estimation of crop water needs



Culture	Water needs by cycle (mm)	Cycles in a year	Irrigation time		Source
			1st cycle	2nd cycle	
Coconut	1000	-	All year round	-	(Kerala Agricultural University, 2019)
Banana	1200	-	All year round	-	(Tamil Nadu Agricultural University, 2025) (Inayatali & Suryanarayana, 2016)
Millet	250	2	June August	October December	(Tamil Nadu Agricultural University, 2025) (Sivasakthi & Devi, 2023)
Rice	1500	2	June July August	November December January	(Government of Tamil Nadu, State Planning Commission, 2023)

3- Method (Manon)

Identification of agricultural uses and needs



Theoretical agricultural production

Culture	Yield (ton/hectare)	Source
Coconut	10900 (nuts/hectare)	(Directorate of Economics and Statistics, 2024)
Banana	37,98	
Millet	1	
Rice	3,29	

Crops such as sugarcane, casuarina, acacia, and teak were excluded from the irrigation needs analysis because these species :



Are drought-resistant



Do not produce food

3- Results (Manon)

Hydrological response - Areas

Month	Osudu	Kanagan
January		No images without clouds
February		
March		
April		

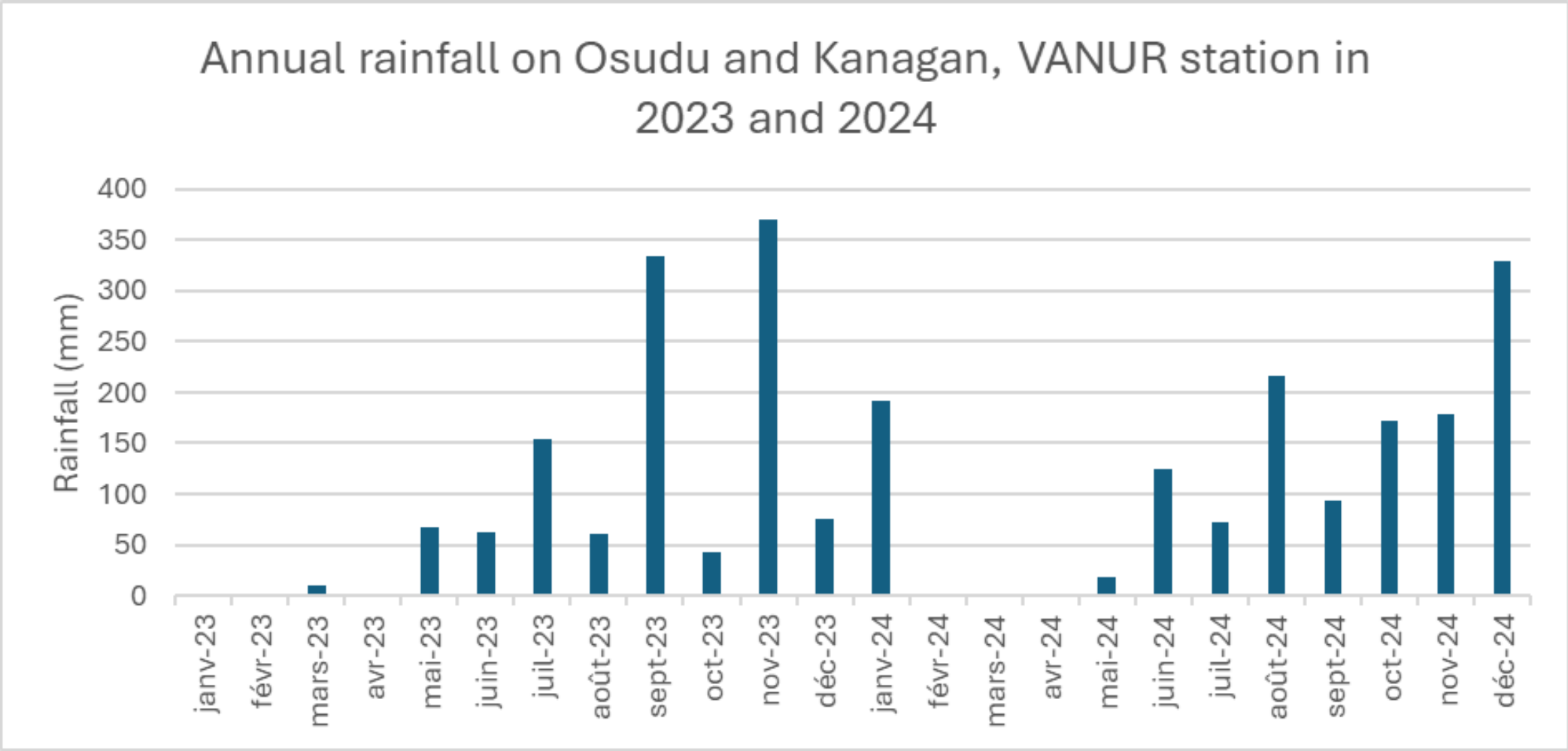
Month	Osudu	Kanagan
May		
June		
July	Tank is mistaken with clouds	
August		

Month	Osudu	Kanagan
September		
October		
November		
December		

3- Results (Manon)

Hydrological response

Correlation with rainfall



Osudu : 2 months delay
Kanagan : no delay

	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

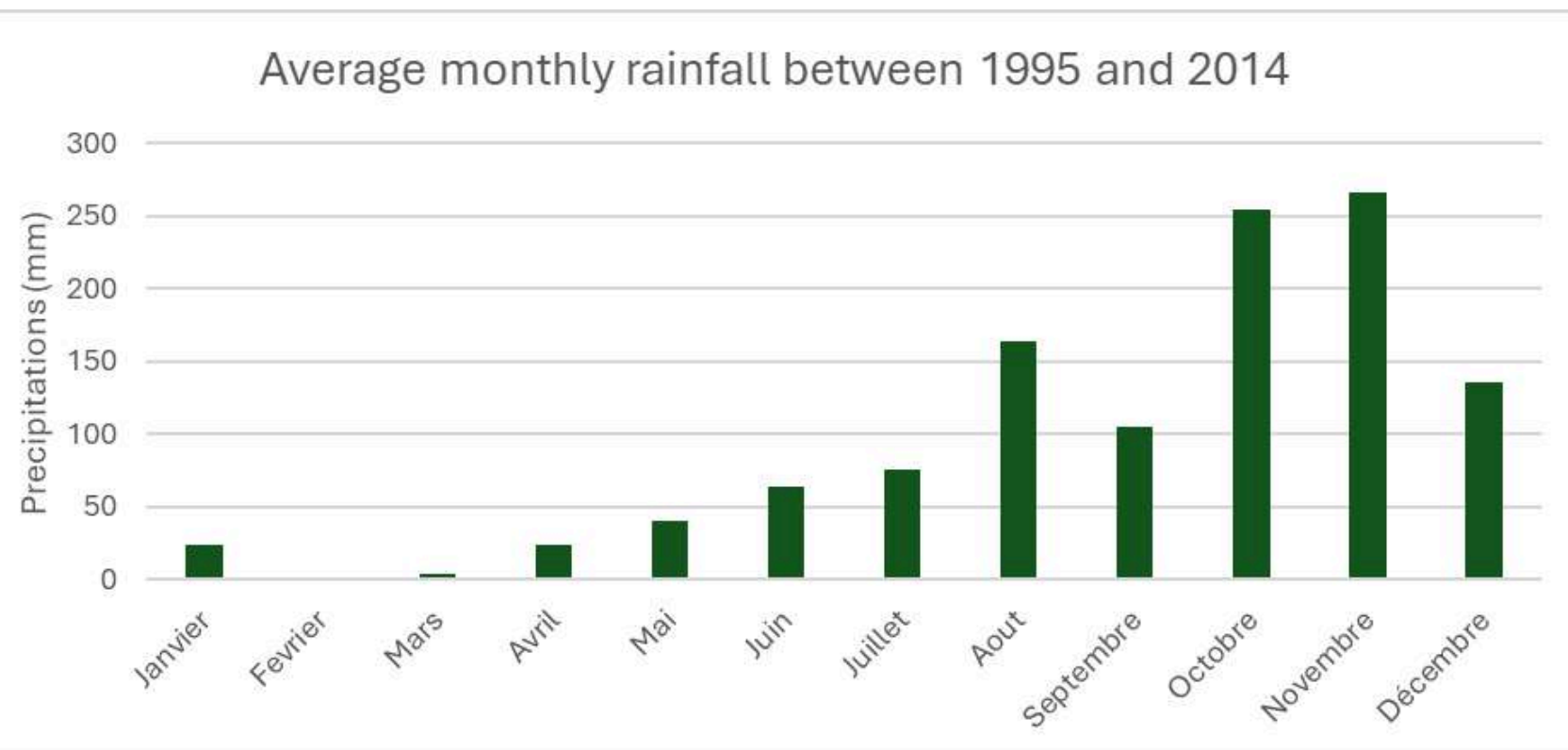
3- Results (Manon)

Volume of incoming water

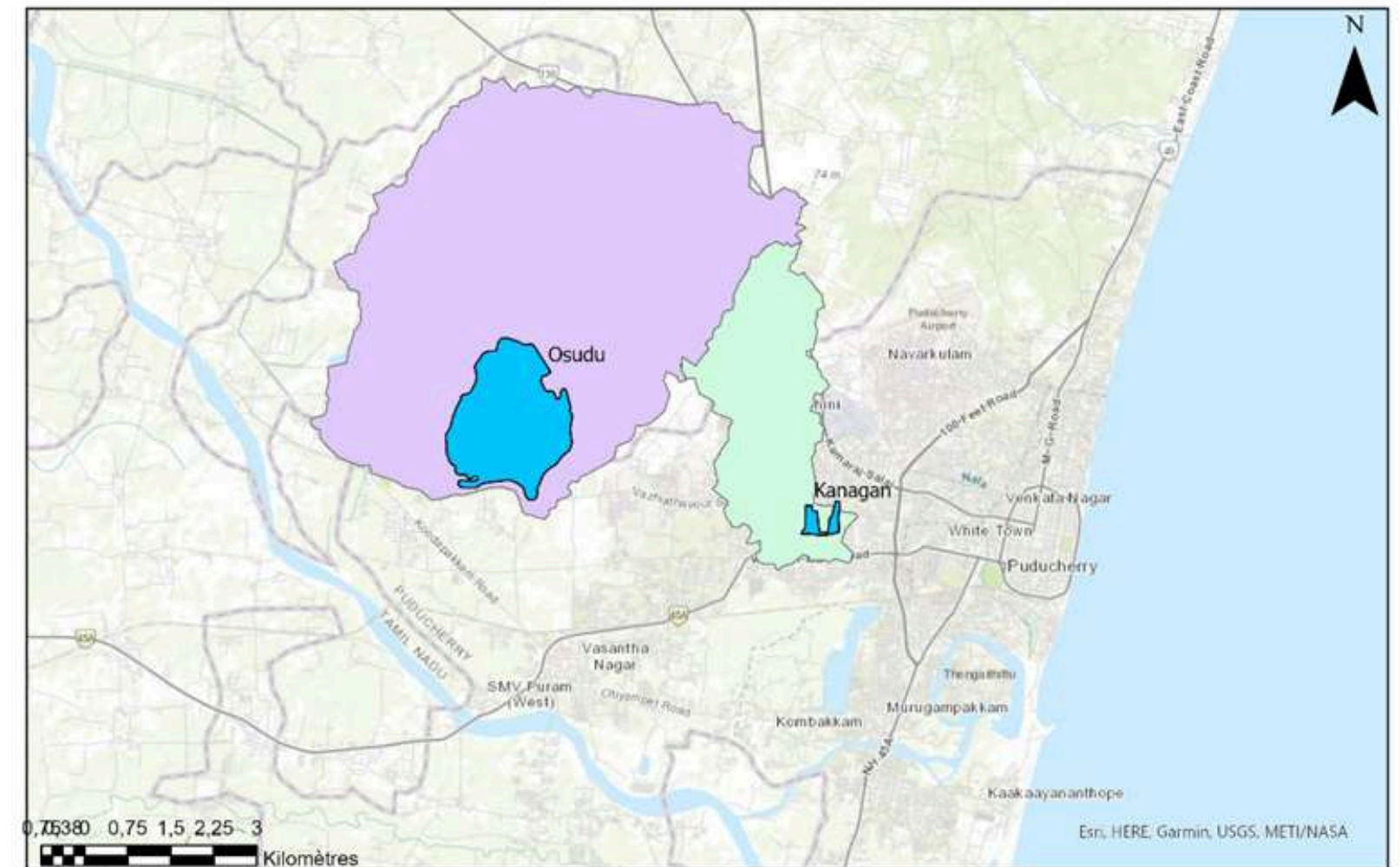
Watersheds

Osudu : 38,5 km²

Kanagan : 8,4 km²



Bassins versants des réservoirs Osudu et Kanagan



Légende

- Lacs
- Bassin versant Osudu
- Bassin versant Kanagan

3- Results (Manon)

Volume of incoming water

Runoff

Osudu : 0,249

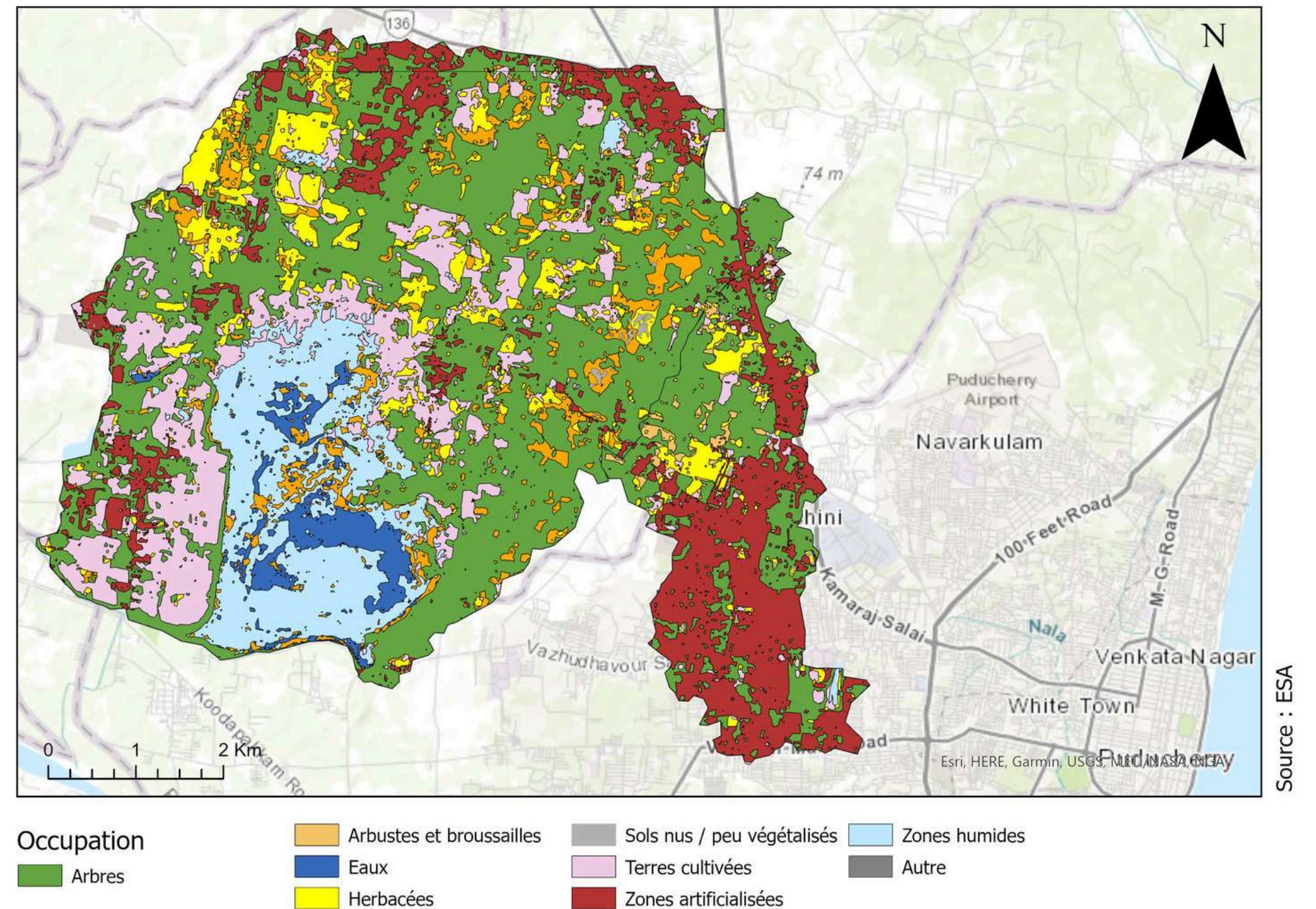
Kanagan : 0,303

Total volume

Osudu : $13 \times 10^6 \text{ m}^3$

Kanagan : $3,6 \times 10^6 \text{ m}^3$

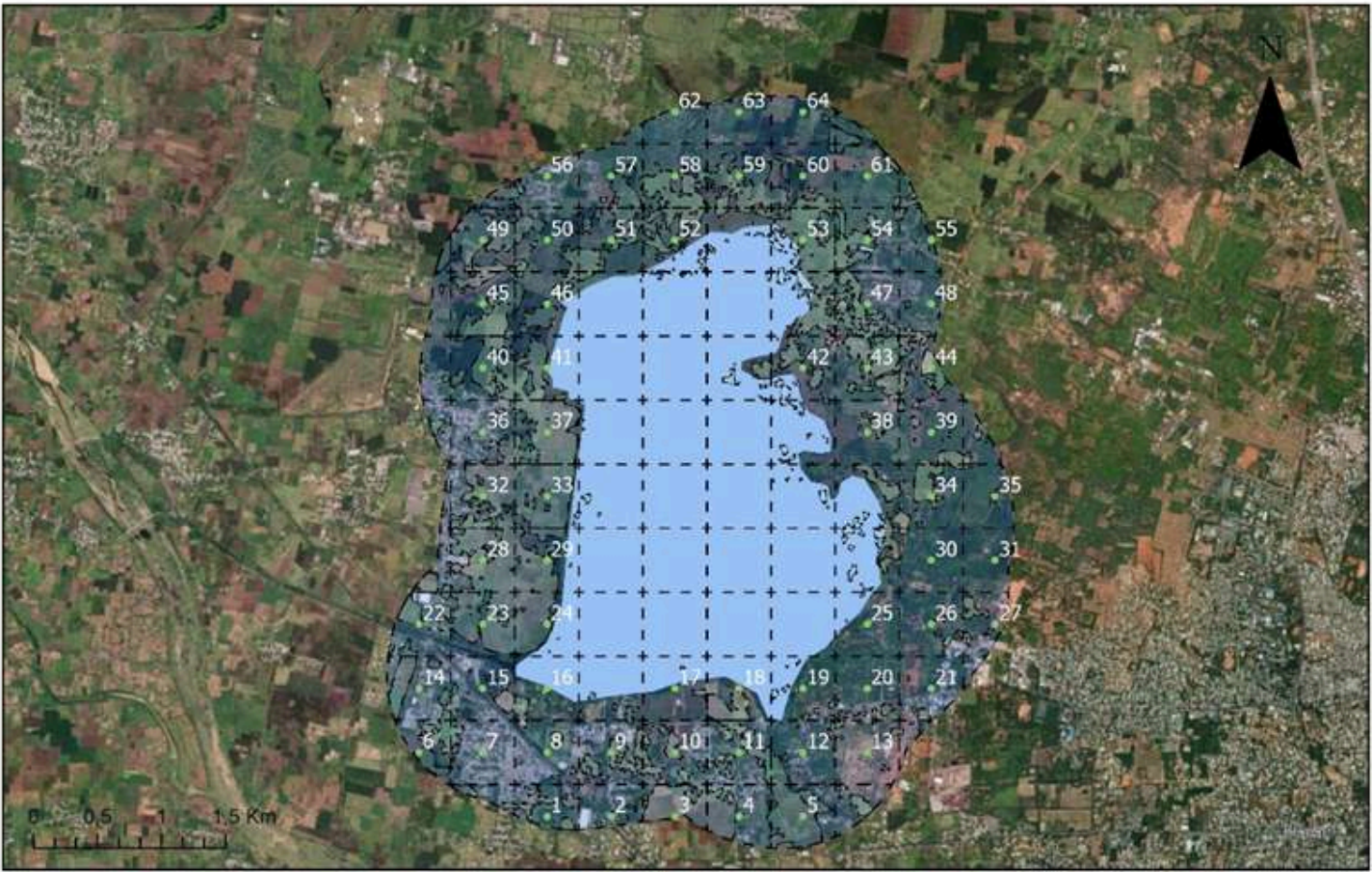
Occupation des sols des bassins versants des réservoirs Osudu et Kanagan



3- Results (Manon)

Identification of agricultural uses and needs

Points de relevé terrain autour du réservoir Osudu

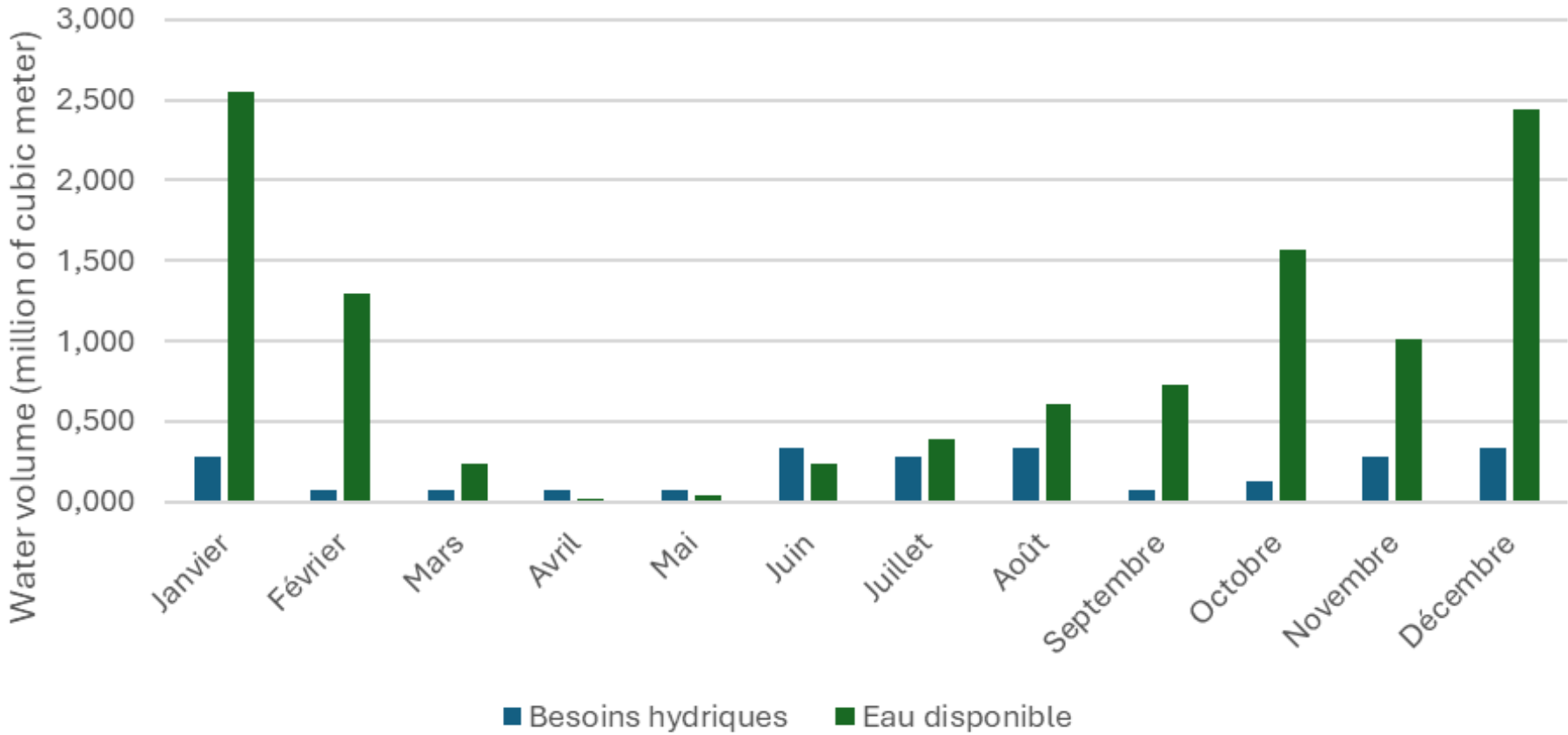


Légende



2,38 million cubic meters

Monthly balance between agricultural water needs and inward volume



3- Results (Manon)

Identification of agricultural uses and needs

Estimated food produced

Culture	Weight produced (ton)	Average needs (ton/capita/year)	Fed population equivalent
Coconut	608	0,00616	90686
Banana	702,3	0,01929	36408
Millet	83,8	0,00738	1150
Rice	242,6	0,09898	2451

(Food and Agriculture Organization of the United Nations)

3- Results (Manon)

Kanagan situation and conclusion

Criteria	Osudu	Kanagan
Watershed's area	38,5 km ²	8,4 km ²
Environnement	Agricultural and forestry	Periurban / urban
Hydrological response	Two months	Immédiate
Hydric inertia	High	Low
Cultures	Yes, a lot around the tank	None

3- Limits (Manon)

Runoff coefficient :

- The lack of local pedological data prevents a detailed estimation of infiltration and runoff
- This parameter was estimated indirectly from land use and slopes, without field data. The values are taken from literature, which introduces uncertainty.

Volume of incoming water

- The calculation neglects evapotranspiration, deep infiltrations, tank leaks or human samples, which may lead to an overestimation.

3- Perspectives (Manon)



Regional scale

Create a semi-operational monitoring tool



Refine analysis

Field measurement : water depth, soil, evaporation...

2- Objectives (Estelle)

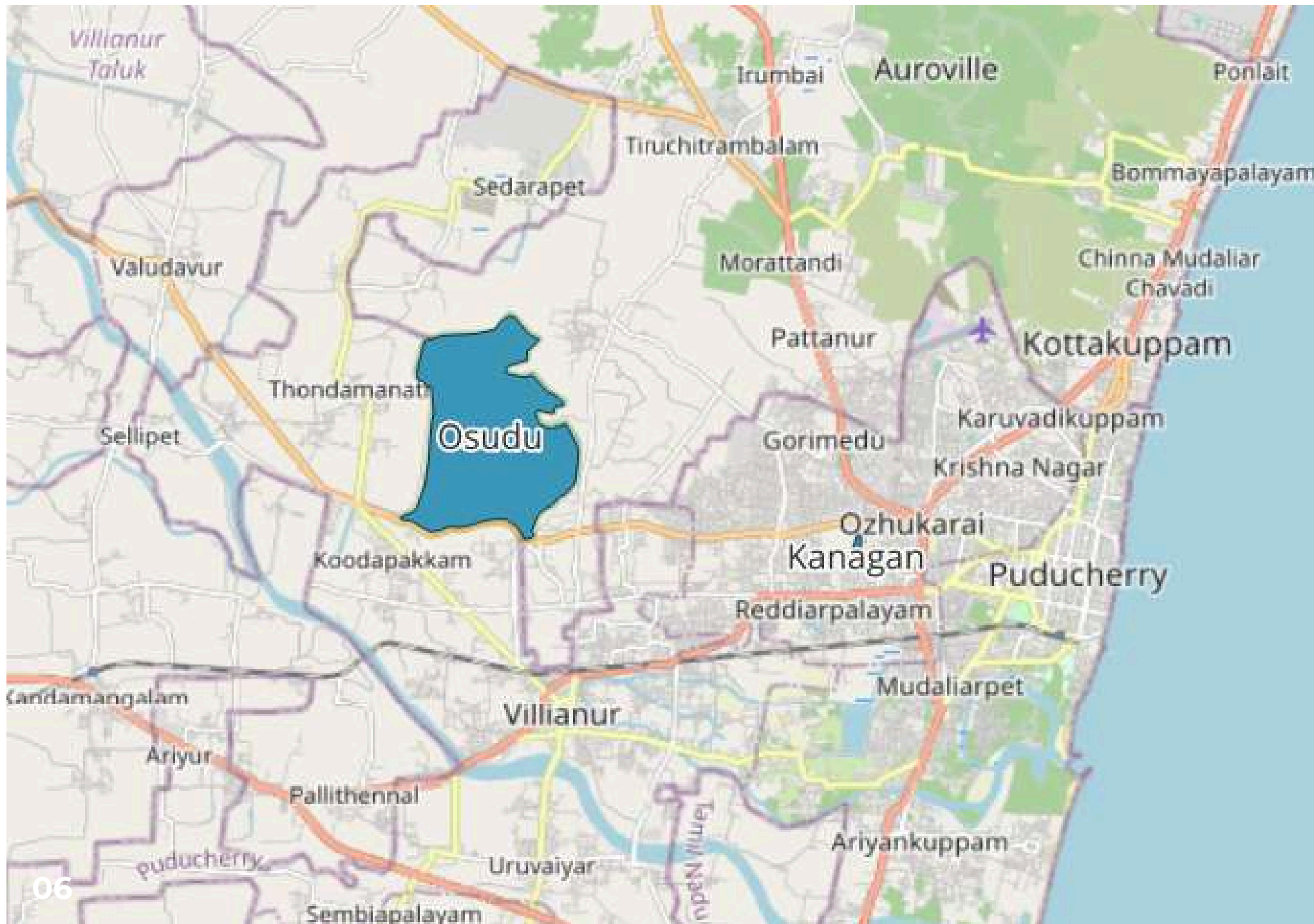
Main objective :

Studying the impact of climate change on two open-air water tanks : Kanagan Lake and Osudu Lake over the next 30 years.

Sub-objectives :

- estimate the amount of rainwater in each lake during 1995-2014
- calculate the amount of rainwater over the next 30 years (2041-2060) for the 4 SSP scenarios

3- Study site (Estelle)



2 water tanks : Kanagan lake
and Osudu lake

over 2 periods :

- 1995-2014
- 2041-2060

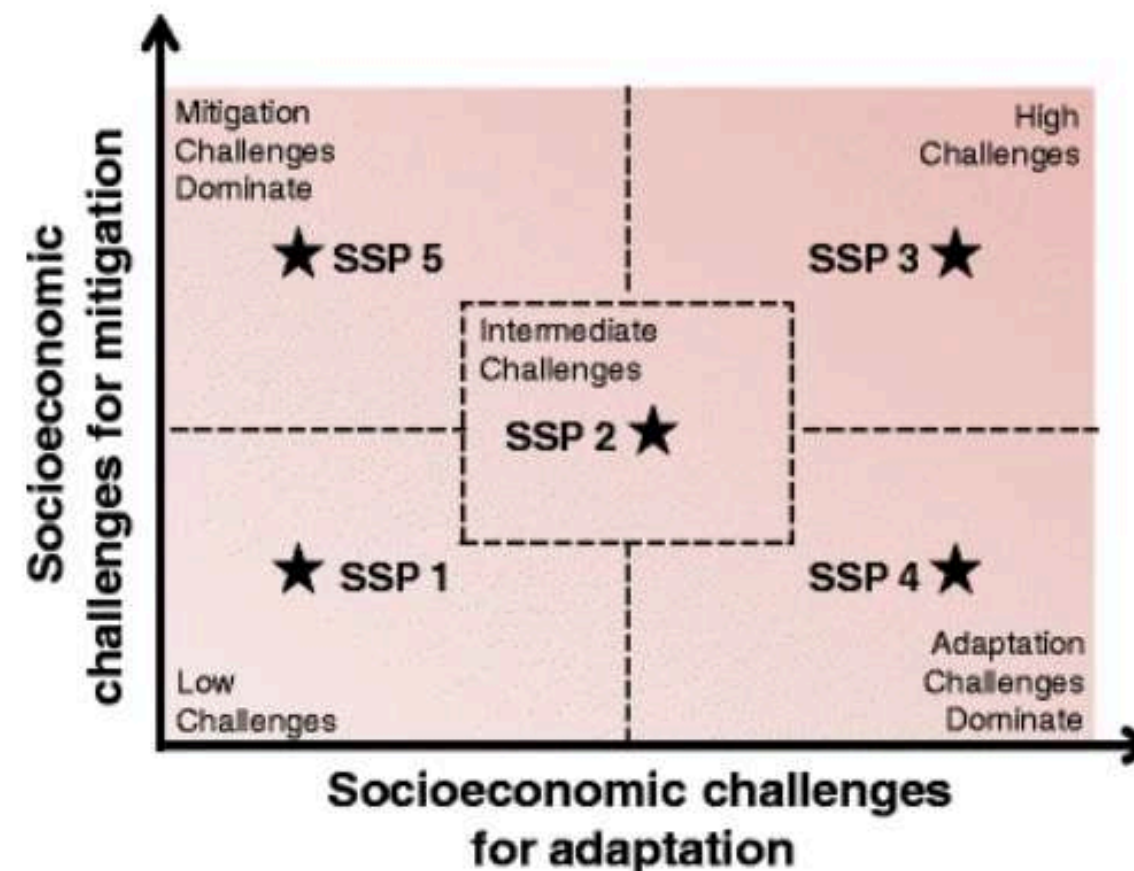
3- Data (Estelle)

Name	Source	Years	Objectives	Link
Rainfall data CHIRPS	Climate Hazard Center UC Santa Barbara	1995-2014	Determine water inputs and variations related to the seasons	https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps
CLIMATE CHANGE 2023 Synthesis Report	IPCC (GIEC)	2023	Understanding the different SSP scenarios	10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
IPCC WGI Interactive Atlas	IPCC (GIEC)	2023	Estimate rainfall from 2041 to 2060	https://interactive-atlas.ipcc.ch/regional-information
Sentinel-2 data	GEODES	2015-2024	Time signature of the 2 lakes to see the impact of the seasons	https://geodes-portal.cnes.fr/

3- Method (Estelle)

The different scenarios used by the IPCC

From: A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways



The “challenges space” to be spanned by SSPs (based on Kriegler et al. [2012](#), Fig. 3), divided into five “domains” with one SSP located within each domain, represented by a star

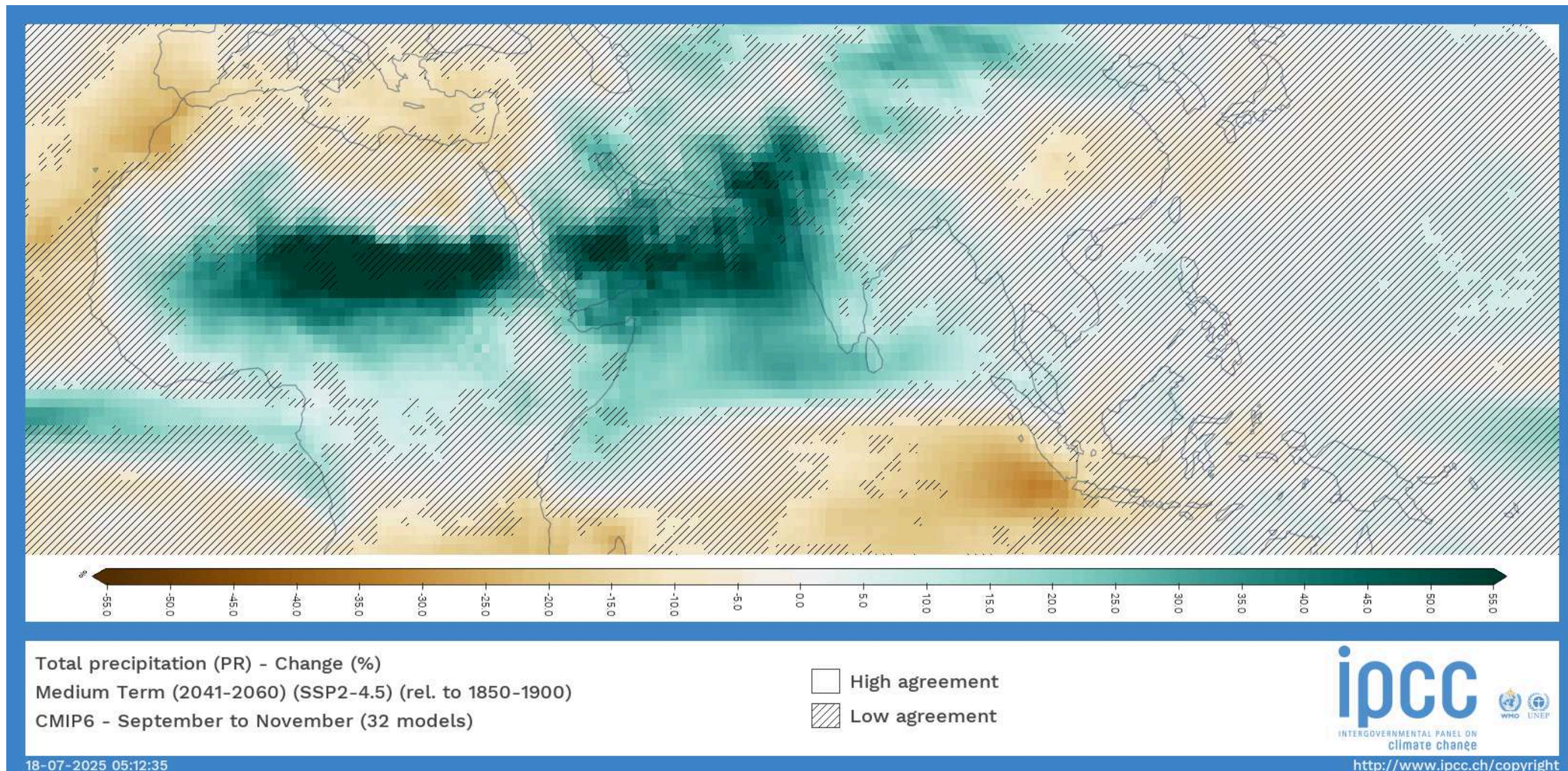
3- Method (Estelle)

Rainfall data in Pondicherry extract from CHIRPS data

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Moyenne
01-janv	0,00	0,00	5,22	6,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,54	5,55	0,00	1,25
02-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,26	0,66
04-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,93	0,00	0,00	0,00	31,36	0,00	0,00	12,84	0,00	0,00	0,00	2,36
05-janv	0,00	3,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,82	0,00	0,00	0,00	0,00	9,20	0,00	0,00	0,00	0,98
06-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,29	0,00	0,00	0,00	0,00	33,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,85
07-janv	12,33	0,00	8,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03
08-janv	8,13	3,51	7,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,68	4,36	0,00	0,00	0,00	3,86	6,19	0,00	0,00	2,76
09-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,93	9,16	0,00	0,00	0,00	2,95
10-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,34	0,00	0,00	0,00	1,40
11-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,29	0,26
14-janv	0,00	6,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
15-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18-janv	5,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
19-janv	6,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,65
20-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13
21-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,38	0,00	0,00	0,00	4,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02
22-janv	0,00	0,00	3,30	0,00	14,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,36	0,00	0,00	1,18
23-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	7,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37
24-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25-janv	0,00	0,00	0,00	4,05	7,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
26-janv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40
27-ianv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,68	0,00	0,00	5,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83

3- Method (Estelle)

Example of IPCC WGI Interactive Atlas data



3- Method (Estelle)

Changes in 2041-2060 compared to 1995-2014 in Pondicherry (IPCC data)

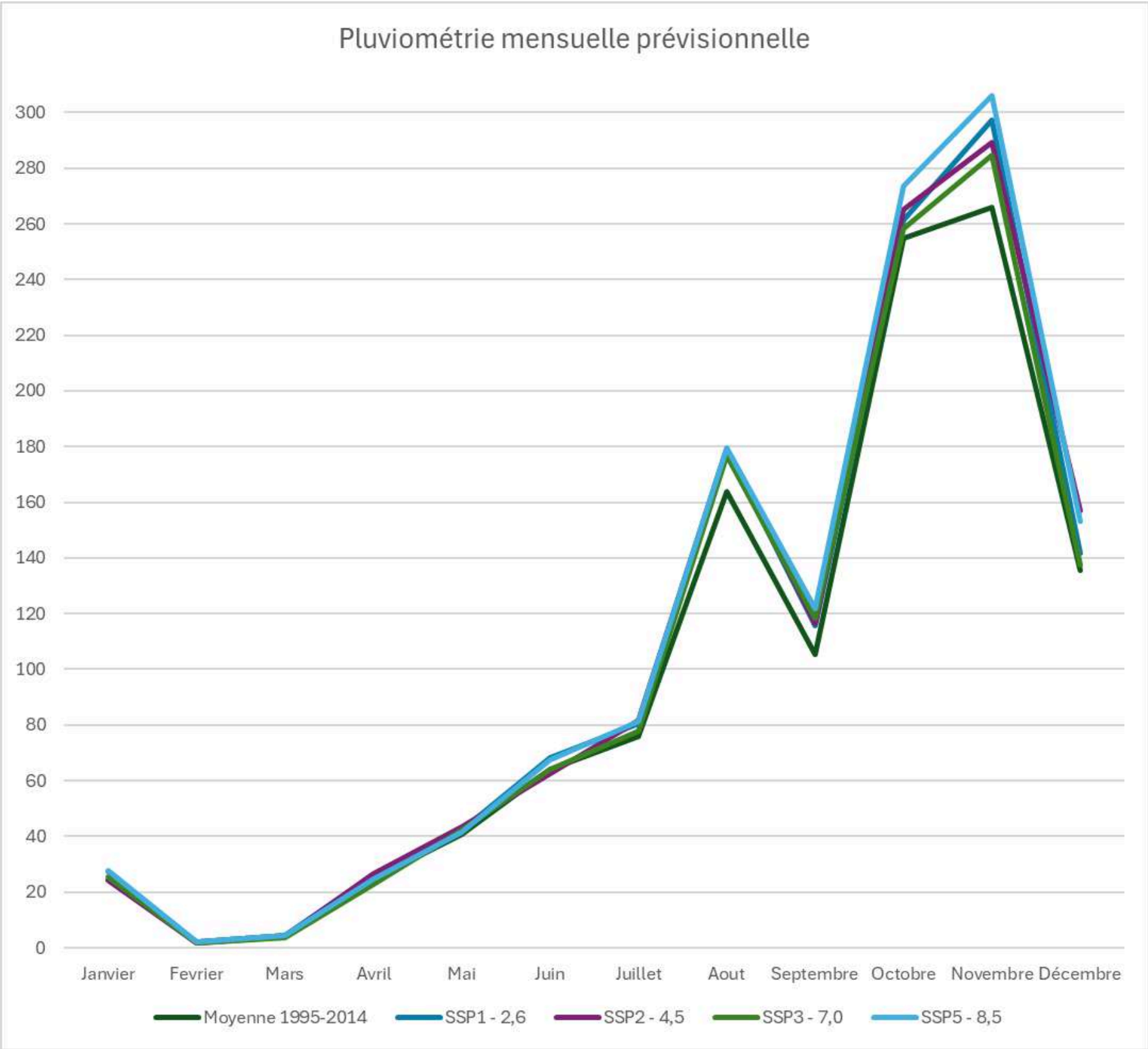
Compared to 1995-2014	SSP1 - 2,6	SSP2 - 4,5	SSP3 - 7,0	SSP5 - 8,5
Janvier	11,8%	-0,7%	4,6%	13,6%
Fevrier	1,4%	-11,5%	-8,2%	0,6%
Mars	-6,9%	-8,1%	-16,6%	-7%
Avril	7%	8,7%	-6,8%	0,1%
Mai	4,4%	7%	4,2%	2,2%
Juin	6,7%	-2,2%	0,2%	5,4%
Juillet	6%	7,6%	2,5%	6,7%
Août	9%	9,2%	7,8%	9,6%
Septembre	9,7%	10,3%	12,1%	15,6%
Octobre	2,5%	4,1%	1,3%	7,3%
Novembre	11,8%	8,8%	7,1%	15,1%
Décembre	4,6%	15,8%	1,5%	13,2%

3- Method (Estelle)

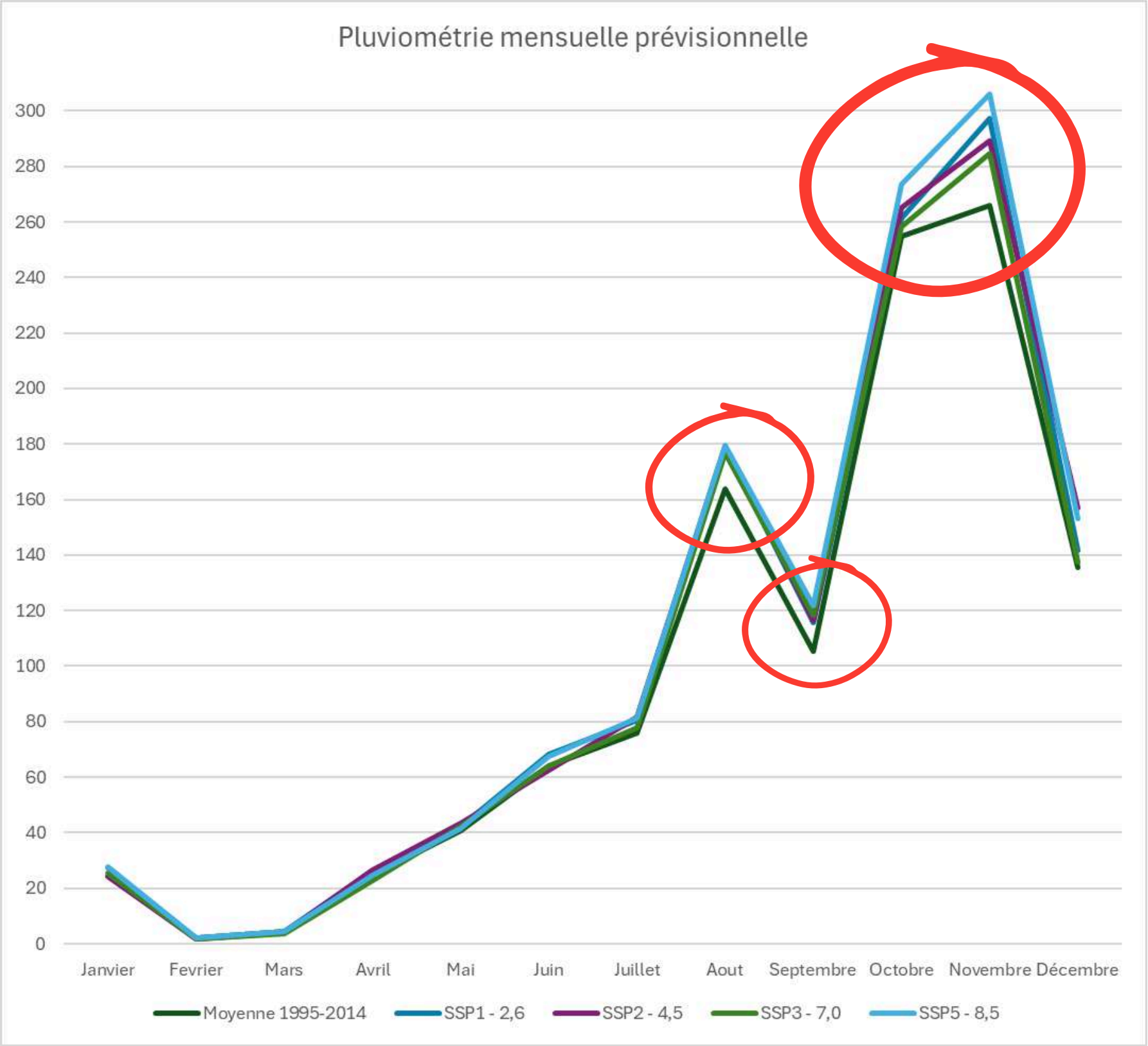
Rainfall calculated for all 4 SSP scenarios

	Mean 1995-2014	SSP1 - 2,6	SSP2 - 4,5	SSP3 - 7,0	SSP5 - 8,5
January	24,410	27,291	24,239	25,533	27,730
February	1,948	1,975	1,724	1,788	1,960
March	4,524	4,211	4,157	3,773	4,207
April	24,550	26,268	26,686	22,880	24,574
May	40,526	42,309	43,363	42,228	41,418
June	63,899	68,180	62,493	64,027	67,349
July	75,978	80,536	81,752	77,877	81,068
August	163,931	178,684	179,012	176,717	179,668
September	105,485	115,717	116,350	118,249	121,941
October	254,799	261,169	265,246	258,112	273,400
November	265,769	297,130	289,157	284,639	305,900
Décember	135,422	141,651	156,818	137,453	153,297

3- Results (Estelle)

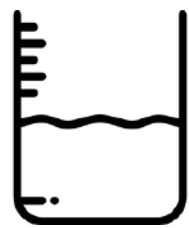


3- Results (Estelle)



3- Results (Estelle)

Conclusion



Increased water intake during wet and dry seasons



Rainfall will become a more important source of water



Adapt current water tank to store this water

3- Limits (Estelle)

Evaporation

IPCC data :

Each data given by the IPCC is calculated from around thirty different models, so the data used for the period 2041-2060 are only forecasts.

CHIRPS data :

I am making an estimate of rainfall over the period 1995-2014.
The results do not match exactly with the IPCC data.

3- Perspectives (Estelle)

Time signature :

Do the time signature of the 2 Osudu and Kanagan tanks for the period 2015-2024 and look at the seasonal modifications to estimate the time signature of these 2 tanks for the period 2041-2060

Automating this method

Extending my method to all of Tamil Nadu

Extending my method to the period 2081-2100

4- Key findings

Remote sensing is relevant to detect and classify the tanks.

Hydrological, topographical, and pedological tools can help identify suitable locations for future tanks.

Certain tanks, such as Osudu, are large and resilient enough to fully meet local agricultural water demands, including during dry seasons.

Tanks offer a mean to capture and store excess monsoon water in a context of climate change.