

# RAPPORT

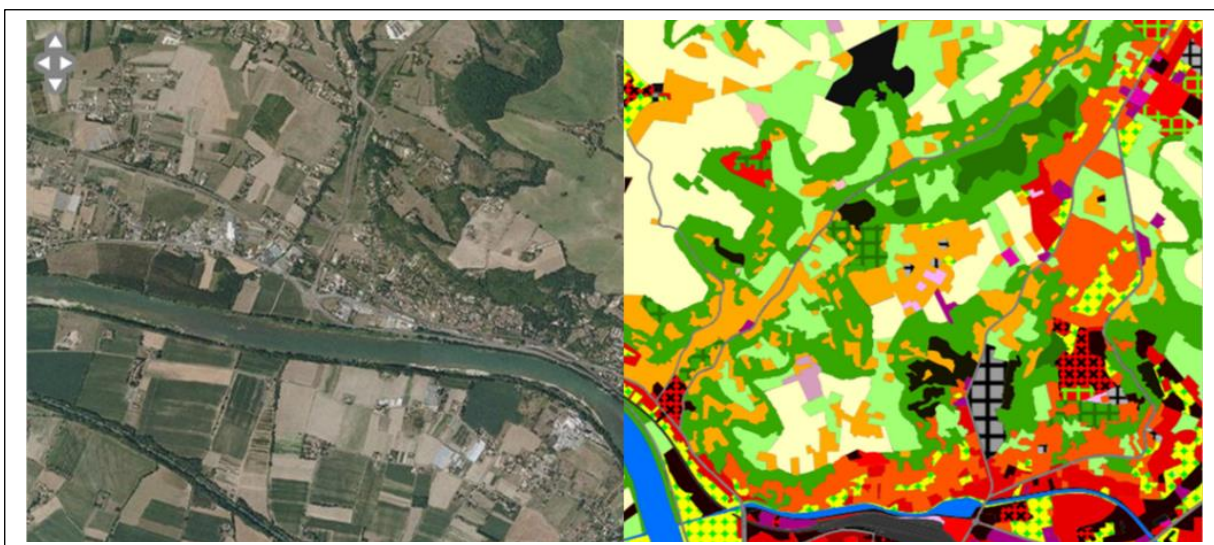
Master 1 Géomatique : Observation de la Terre et Géomatique

---

## Elaboration d'un diagnostic de changement sur la base de deux images sentinel-2 (plaine Californienne) en vue de la caractérisation des dynamiques culturales entre l'hiver et l'été

Ange Sery et Angela Tomasi

---



Professeur : M. Romain Wenger

---

## Table des matières

<i>Résumé</i> .....	1
<i>Abstract</i> .....	1
Introduction .....	2
1. La Californie, une illustre terre agricole .....	2
2. Présentation de la zone d'étude .....	2
3. Problématique et hypothèse de recherche .....	3
I. Méthodologie .....	4
1. Présentation des données .....	4
2. Démarche méthodologique de traitement .....	4
2.1. Prétraitements des images .....	4
2.2. Choix de l'approche pour la cartographie de l'occupation du sol .....	5
II. Résultats et Discussion .....	9
1. Description et interprétation des signatures spectrales des occupations du sol du mois de février et de septembre .....	9
2. Classifications supervisées mono-dates .....	11
3. Carte de changement .....	14
4. Discussion .....	17
Conclusion .....	18
Bibliographie .....	19
Annexe .....	20

---

## ***Résumé***

Cette étude s'intéresse aux dynamiques culturales estivales et hivernales de parcelles agricoles californiennes situées dans le comté de Kern (sud de la Vallée Centrale). Il s'agit d'un territoire où l'activité agricole est particulièrement intensive. De plus, la Californie fait face à des épisodes de sécheresses successifs compromettant ainsi l'accessibilité à la ressource en eau. L'étude se base alors sur une exploitation d'images satellitaires Sentinel-2 et a pour objectif la mise en évidence l'évolution des modes d'occupation des sols entre février et septembre, compte tenu des éléments de contextes exposés. La méthodologie adoptée est celle de la classification supervisée. Cette classification a montré des disparités relatives entre les dynamiques culturales du mois de février et du mois de septembre. Il a été néanmoins difficile de souligner l'impact des sécheresses au fil des saisons.

## ***Abstract***

This study focuses on the summer and winter crop dynamics of Californian agricultural plots located in Kern County (southern Central Valley). This is an area where agricultural activity is particularly intensive. In addition, California is experiencing successive droughts, thus jeopardizing access to water resources. The study is therefore based on Sentinel-2 satellite imagery, with the aim of highlighting changes in land use patterns between February and September, considering the context described above. The employed methodology is the one of the supervised classifications. This classification showed relative disparities between the cropping dynamics of February and September. However, it was difficult to highlight the impact of droughts over the seasons.

# Introduction

## 1. La Californie, une illustre terre agricole

Aux Etats-Unis, la Californie figure parmi l'un des États les plus productifs en termes d'activité agricole. Une partie de ce territoire profite d'un climat de type méditerranéen [1]<sup>1</sup>, particulièrement favorable pour les rendements agricoles. La Californie produit ainsi plus de 400 denrées agricoles différentes dont un tiers de la production en légumes ainsi que deux tiers de la production en fruits et en noix du pays (Pathak et al. 2018). Cette activité agricole intensive représente des enjeux financiers de taille, si bien que le département américain de l'Agriculture (USDA) estime, qu'en 2016, les revenus cumulés des 77 500 fermes californiennes recensées équivaut à 46 milliards de dollars (Canteneur, 2019).

## 2. Présentation de la zone d'étude : Parcelles agricoles du comté de Kern

Les dynamiques agricoles propres au comté de Kern participent tout autant à cette activité intensive. Situé au sud de la Californie, le comté de Kern a pour siège la ville de Bakersfield. La zone d'étude se situe, quant à elle, à l'ouest de ce chef-lieu, à proximité des villes de Shafter à l'est et de Wasco au nord-est.

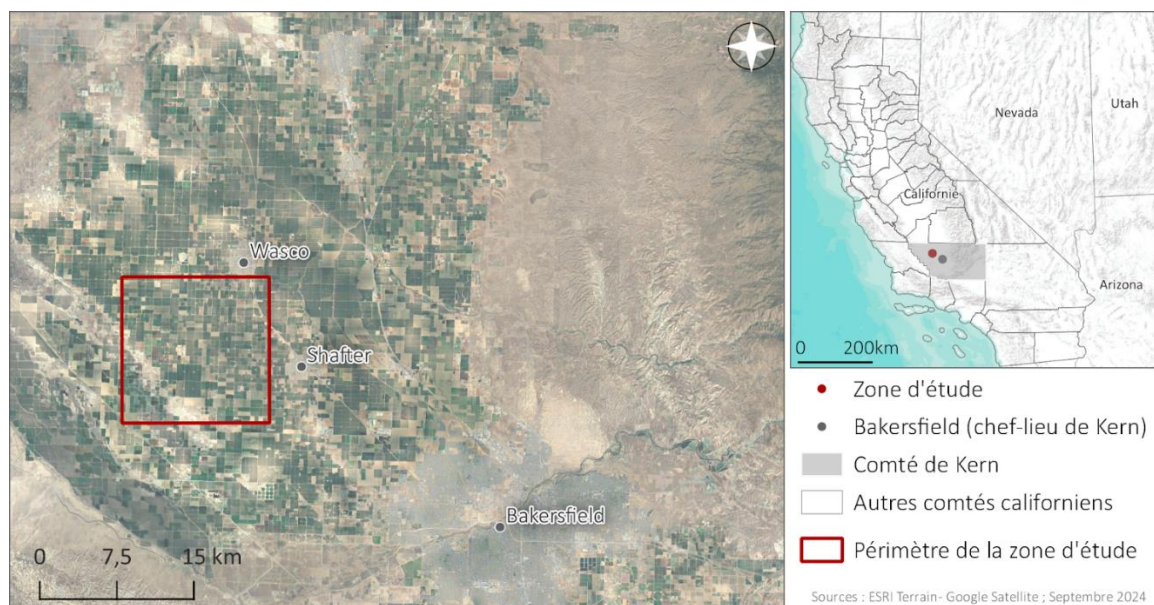


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude.

<sup>1</sup> [1] Cf. Carte des climats californiens p.23

Le terrain d'étude est situé plus précisément au sud de la Vallée Centrale [2]<sup>2</sup>. Il s'agit d'un territoire présentant des conditions climatiques très favorables pour l'agriculture. Toutefois, la Vallée Centrale doit faire face à des enjeux liés à la ressource en eau en raison d'une succession d'épisodes de sécheresses (*Mann et Gleick, 2015*) corroborée par le dérèglement climatique. Pour maintenir les exploitations agricoles, les agriculteurs font recours à une surexploitation des nappes d'eaux souterraines (*Kisekka et al., 2023*) au service de l'irrigation de leurs parcelles agricoles (*Voss et al., 2013*).

Il serait alors intéressant d'étudier les suivis des changements des modes d'occupation du sol des parcelles agricoles entre différentes saisons à l'aide de la télédétection, et ce au regard des enjeux climatiques tout juste exprimés.

L'Agence Spatiale Européenne (ESA) définit la télédétection comme une méthode permettant l'obtention d'informations sur des objets spatiaux "en recueillant et en analysant des données sans contact direct entre l'instrument utilisé et l'objet analysé". Ainsi, la méthode de la télédétection se présente tout à fait pertinente puisqu'elle permet le "monitorage des milieux naturels et anthropiques" (*Wald et Monget, 1981*). Dans le cadre de cette étude, il s'agira plus précisément d'exploiter deux images satellitaires Sentinel-2.

### **3. Problématique et hypothèse de recherche**

Ainsi, nous pourrions nous demander dans quelle mesure les dynamiques culturelles hivernales du terrain d'étude diffèrent-elles, en termes de mode d'occupation du sol, de celles estivales.

Dans le cadre d'une démarche plus générale, cette étude pourrait également servir à la réflexion autour de la télédétection, en tant qu'outil pertinent pour le contrôle et le suivi des rendements agricoles, mais aussi pour en explorer les limites.

C'est alors que les différents traitements réalisés pourraient être en mesure de documenter une évolution marquée du mode d'occupation des sols entre la période hivernale et estivale (***hypothèse 1***) tout en permettant de constater une moindre

---

[2] Cf. *Carte de la Vallée Centrale de Californie* (source : U.S. Geological Survey) p.23

disponibilité en réserves d'eau en septembre (période de l'année la plus chaude)  
(*hypothèse 2*)

## I. Méthodologie

### 1. Présentation des données

Les données utilisées (**tableau 1**) proviennent du capteur satellitaire *Sentinel-2*. Développé par l'ESA, il a pour caractéristique particulière de réaliser des acquisitions à des angles constants. Ainsi, les scènes observées ont les mêmes angles solaires et d'acquisition (*Pelletier, 2017*).

Tableau 1 : Dates d'acquisition et caractéristiques des données images utilisées (Source : Auteur rapport).

		Caractéristique radiométrique			Caractéristique géométrique		
Nom des images	Date	Bande	Min - Max	Intervalle majoritaire	Système de projection	Resolution spatiale (m)	Emprise spatiale (ha)
T11SKV_20190909T183919_B02	09-sept-19	Bleu	0 - 7 457	241 - 1 954	EPSG:32611 - WGS 84 / UTM zone 11N	10	1 205 604
T11SKV_20190909T183919_B03		Vert	0 - 7 880	421 - 2 590			
T11SKV_20190909T183919_B04		Rouge	0 - 8 280	327 - 3 226			
T11SKV_20190909T183919_B08		PIR	0 - 8 514	1600 - 5 400			
T11SKV_20190211T184509_B02	11-févr-19	Bleu	0 - 9 858	100 - 1 100			
T11SKV_20190211T184509_B03		Vert	0 - 9 595	130 - 1 330			
T11SKV_20190211T184509_B04		Rouge	0 - 9 458	50 - 1 570			
T11SKV_20190211T184509_B08		PIR	0 - 10 461	500 - 5 200			

### 2. Démarche méthodologique de traitement

#### 2.1. Prétraitements des images

Les prétraitements se résument ici en un ensemble de traitements appliqués à l'ensemble des quatre (4) bandes spectrales (PIR [B08], Rouge [B04], Vert [B03], Bleu [B02]) de chaque date, afin d'obtenir des images en couleur.

##### ▪ Découpage de la zone d'étude

Cette opération consiste à extraire de la scène entière une portion d'image correspondant au rectangle circonscrit à la zone d'étude. C'est ainsi qu'une portion d'image inscrite dans le rectangle (emprise), a été extraite. Cette emprise a une superficie de 20 291,198 hectares. L'extraction s'est faite grâce au logiciel Qgis (Version 3.38.3) (**figure.2**).



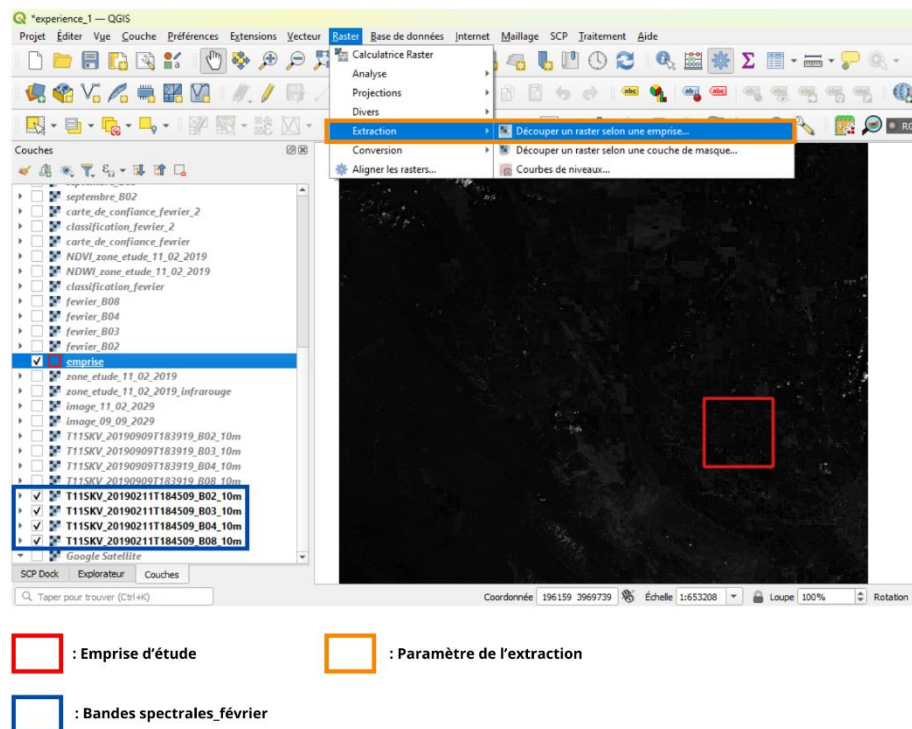


Figure 2 : Processus d'extraction de l'emprise d'étude sous Qgis (Version 3.38.3). Dans cette exemple, l'extraction a été réalisée sur chacune des bandes spectrales du mois de février suivant le même paramètre. Nous avons fait la même manipulation avec les bandes spectrales du mois de septembre. (Source : Auteur rapport).

## ■ **Compositions colorées**

Chaque image obtenue d'un canal spécifique est en niveaux de gris. La technique de composition colorée permet de créer une image en couleur en combinant trois bandes spectrales. Cette méthode s'appuie sur l'attribution des bandes spectrales sélectionnées selon les buts de l'étude, aux trois couleurs primaires : rouge, vert et bleu. Le but de cette technique est de synthétiser les informations afin de discriminer efficacement les différentes unités d'occupation du sol. Dans le cadre de la présente étude, les compositions colorées ont été obtenues suite à l'affectation dans l'ordre, aux trois couleurs primaires (Rouge, Vert et Bleu), les bandes du rouge (50-1750 nm), du vert (130-1330 nm), du bleu (100-1100 nm) et les bandes du proche infrarouge (500-5200 nm), du rouge (50-1750 nm), du vert (130-1330 nm). Cette construction, a été faite grâce au logiciel Qgis (Version 3.38.3) via le chemin : **Raster → Divers → construction d'un raster virtuel**.

## **2.2. Choix de l'approche pour la cartographie de l'occupation du sol**

Selon Diédhiou et al. (2020), bien que la teinte, la texture et la structure soient utilisées pour identifier des éléments dans une image, la valeur spectrale des pixels reste le

principal critère pour une bonne classification car elle permet de rester proche de la réalité.

La méthode de classification choisie dans le cadre de notre étude est celle de la classification supervisée. Cette méthode repose sur la connaissance à priori des classes (définition d'une typologie), indispensable pour la phase d'apprentissage. La phase d'apprentissage nécessite un **“jeu d'apprentissage”**, se basant essentiellement sur des échantillons dont la classe est connue. Ces échantillons sont généralement des groupes de pixels. À partir de cette connaissance, la phase d'apprentissage permet au classifieur sélectionné de modéliser chaque classe soit en se basant sur les échantillons qui lui sont associés (modèle génératif), soit en définissant les frontières qui séparent les classes (modèle discriminatif) (Postadjian, 2020). Dans notre cas, le classifieur utilisé est le SCP (Semi-Automatic Classification), développé par Lucas Congedo.

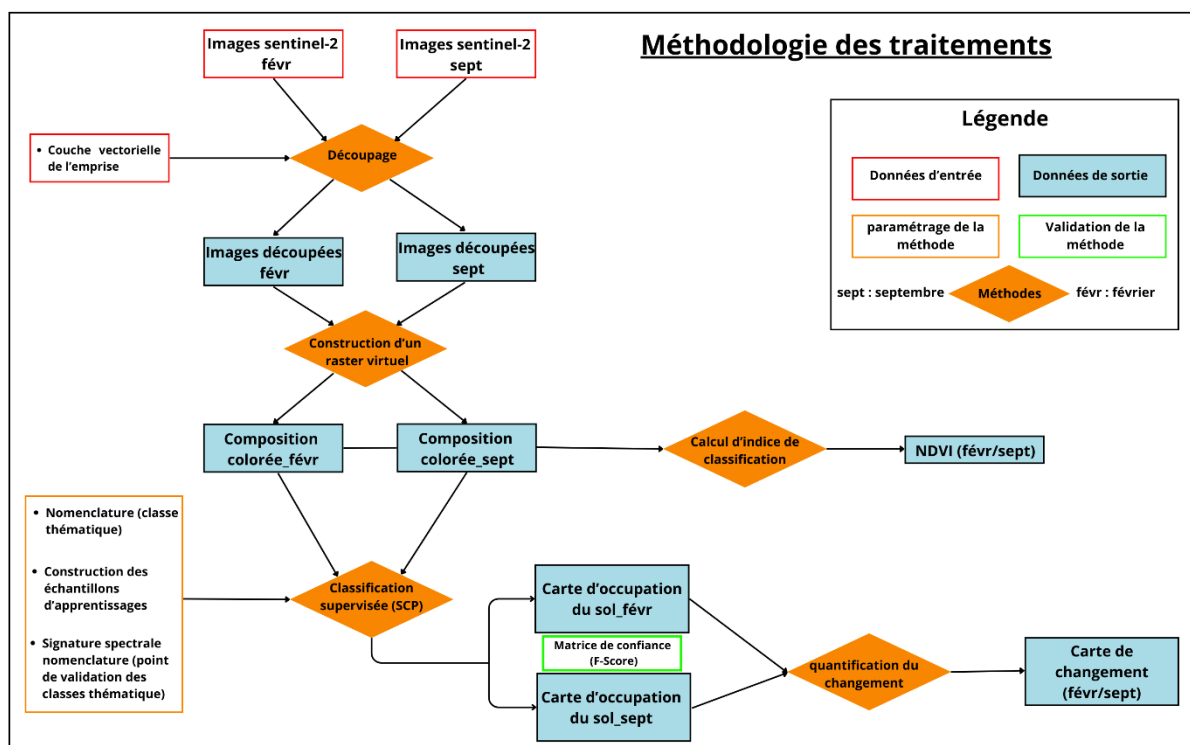


Figure 3 : Organigramme de la méthodologie des traitements. (Source : Auteur rapport).

### ▪ Définition des classes thématiques

Elle constitue une étape préalable à la phase de la classification supervisée. Cette définition a été faite sur la base d'une interprétation visuelle de nos images en couleur naturelle (R-G-B = 3-2-1) et fausse couleur (PIR-R-G = 4-3-2) car selon l'étude d'Edward



(1990), l'interprétation visuelle d'une photographie aérienne est plus fiable. Cependant, pour *Coppin et al.* (2004), l'interprétation visuelle reste subjective, ce qui donne recours aux techniques de détection automatique. En plus de l'interprétation visuelle des compositions colorées (image en vraie couleur et image en fausse couleur), nous avons calculé pour nos différentes images un indice de classification (le NDVI) (**tableau 2**) ce qui nous a permis de générer des images composites, qui ont été des éléments d'interprétation supplémentaires pour la distinction des classes.

Tableau 2 : Indice de classification. (Source : Auteur rapport).

Indice	Définition	Formule
<b>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</b>	Le NDVI est un indice construit à partir des bandes rouge et NIR (proche infrarouge) d'une image. Il exploite les caractéristiques en réflectance des végétaux, qui absorbent les longueurs d'ondes autour de 650 nm et réfléchissent plus ou moins celles dans le proche infrarouge (entre 700 et 900 nm) en fonction de leur activité chlorophyllienne. sa valeur est comprise en -1 et +1.	$NDVI = \frac{\text{proche infrarouge} - \text{rouge}}{\text{proche infrarouge} + \text{rouge}}$

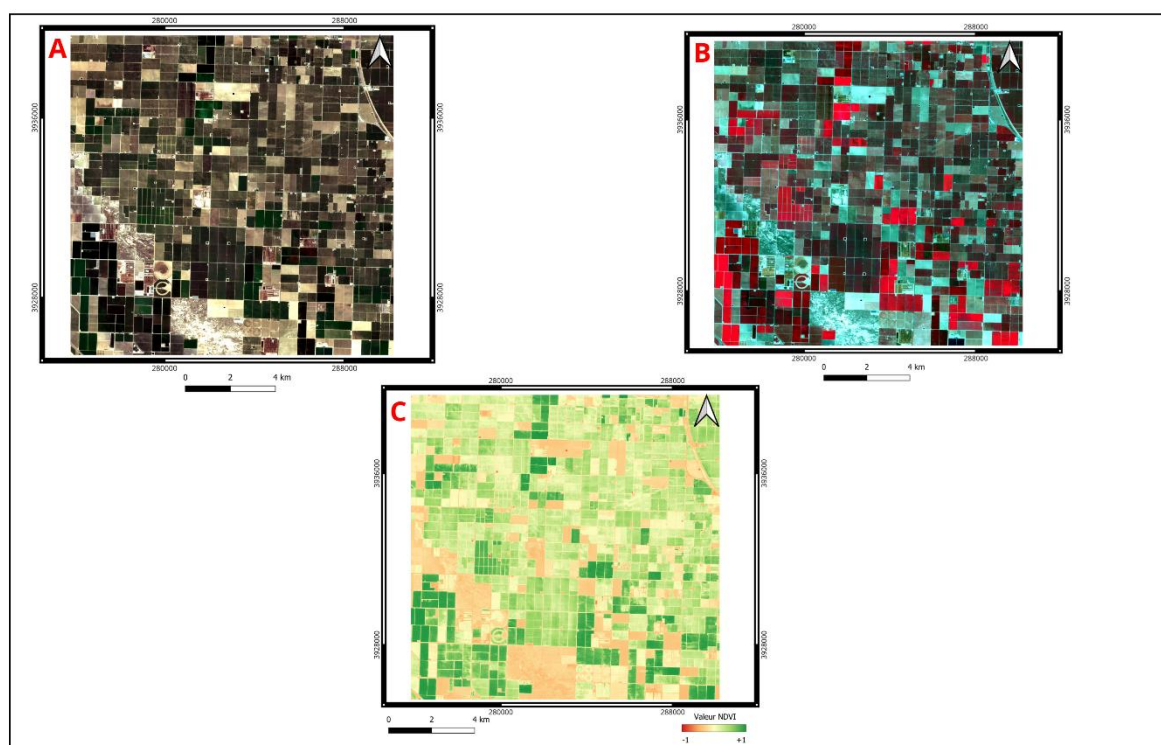


Figure 4 : Composition colorée obtenue après la construction du raster visuel (carte A et B) et calcul du NDVI (carte C). La carte A est une composition en vraie couleur (rouge-vert-bleu). Sur cette image, les champs cultivés apparaissent en vert. Les nuances de vert diffèrent selon les champs et indiquent qu'il s'agit de cultures différentes ou de cultures à différents stades de croissance. Les sols nus apparaissent en brun. La carte B est une composition en fausse couleur (NIR-Rouge-vert). La végétation est représentée par des hautes valeurs dans le proche infrarouge, qui apparaît en rouge sur l'image. Les sols nus apparaissent en cyan, parce qu'ils ne possèdent pas de végétation qui leur donnerait une couleur rouge à l'écran. Les nuances de rouge diffèrent selon les champs et indiquent qu'il s'agit de cultures différentes ou de cultures à différents stades de croissance. La carte C est le résultat du calcul du NDVI pour chaque pixel de l'image. Les pixels vert sombre indique un NDVI élevé donc forte activité chlorophyllienne, les pixels vert clair indique

un NDVI moyen donc faible présence de cultures et les pixel orange à tendance à tendre vers la couleur rouge indiquent un faible NDVI donc pas de végétation (sols nus). Nous remarquons que ces trois cartes véhiculent les mêmes interprétations au niveau de l'occupation du sol. (Source : Auteur rapport).

A l’issus de ces prétraitements, nous avons définis quatre classes (**tableau 3**) de sorte à être, à la fois, bien distinctes entre elles et communes aux deux images.

Tableau 3 : Classes thématiques retenues. (Source : Auteur rapport).

Code	Nom de la classe
1	Parcelle à culture en maturité
2	Parcelle à culture jeune
3	Sol nu
4	Eau

▪ **Sélection des échantillons d’apprentissage**

Le choix des échantillons d’apprentissage s’est basé sur l’interprétation des compositions colorées. Ils ont été obtenus en sélectionnant des polygones de pixels sur chaque image. Les polygones de pixels sont sélectionnés de manière à être représentatifs de l'ensemble de la zone d'étude, de chaque type d'occupation du sol et aux dimensions similaires.

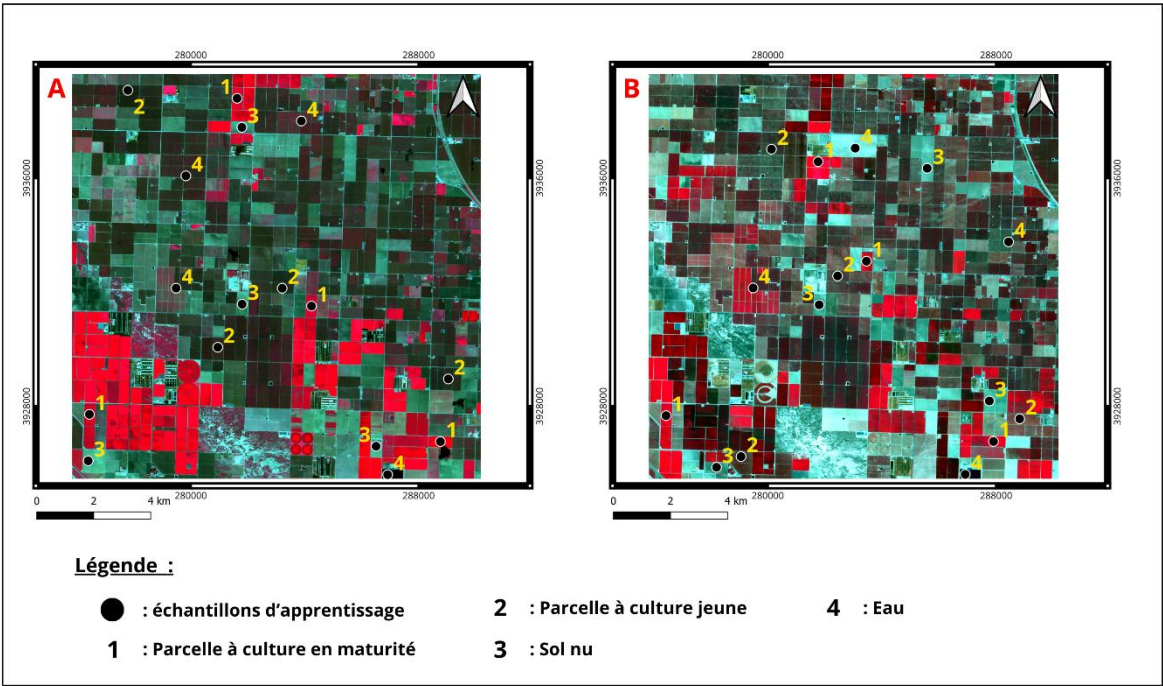


Figure 5 : Localisation des échantillons d'apprentissage sur la composition colorée en fausses couleurs de la zone d'étude. La carte A (à gauche) date du 11 février 2029 et la carte B (à droite) date du 09 septembre 2019. (Source : Auteur rapport).

Une fois générée, la signature de chaque échantillon est analysée. Elle constitue une étape très importante car indispensable pour la validation des classes thématiques.

## II. Résultats et Discussion

### 1. Description et interprétation des signatures spectrales des occupations du sol du mois de février et de septembre

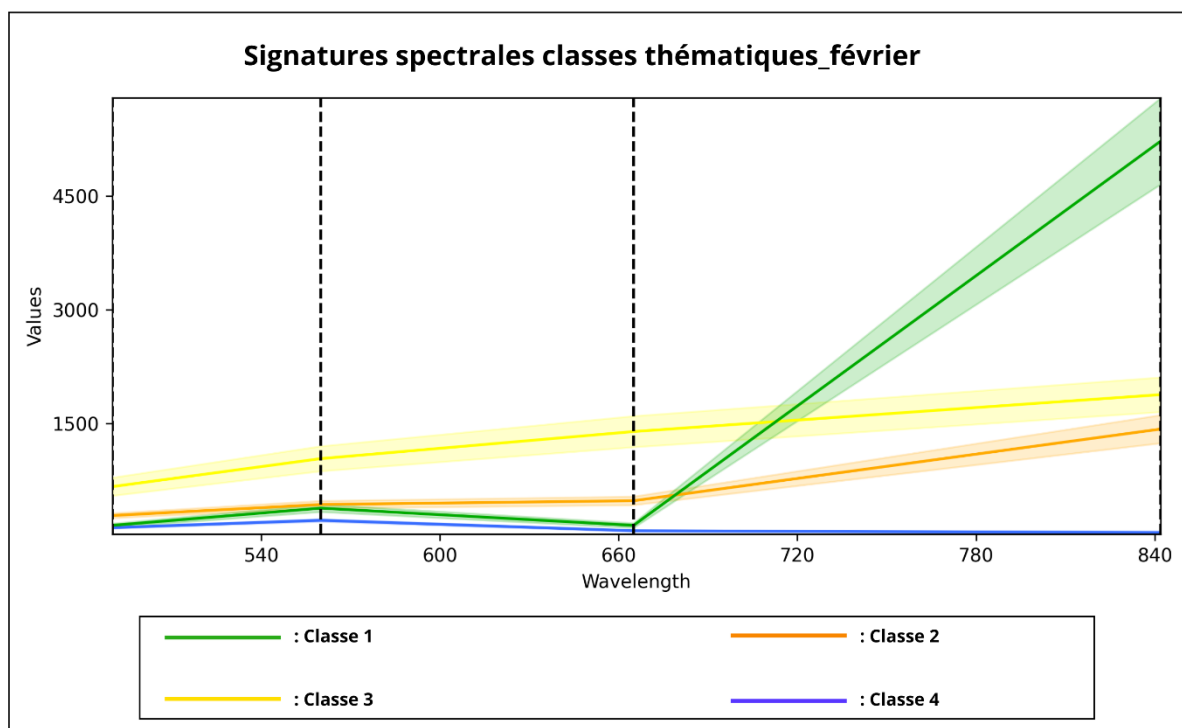


Figure 6 : Signatures spectrales des échantillons d'apprentissage de l'occupation du sol de l'image de février. (Source : Auteur rapport).

L'analyse des signatures spectrales des échantillons d'apprentissage de l'occupation du sol du mois de février (**figure 6**) révèle trois grandes catégories de réponses spectrales : d'une part, des surfaces présentant un pic d'intensité dans le proche infrarouge ; d'autre part, celles dont la signature spectrale augmente progressivement du visible au proche infrarouge, et celles dont la signature diminue du visible au proche infrarouge.

La première catégorie de surface décrit le comportement typique de la végétation, variant selon la phase de croissance. Pour les plantes matures (**classe 1**), présentant une forte activité chlorophyllienne, on remarque un pic de réflexion dans le proche infrarouge (700 – 1500 nm) et une réflectance plus ou moins faible dans les bandes du visible (400 – 700 nm).

Le profil de la **classe 2** correspond à des parcelles peu végétalisées ou à des cultures jeunes à faible teneur en eau. Cette catégorisation reflète une alternance entre sol nu et

couvert végétal, produisant une signature spectrale mêlant les caractéristiques du sol nu (réflectance dans le visible) et de la végétation (forte réflexion dans le proche infrarouge et une absorption dans le rouge).

Pour la **classe 3**, le profil spectral indique une réflectance croissante du visible au proche infrarouge. Contrairement aux autres surfaces, cette classe représente une surface claire, sans végétation, ce qui explique sa forte réflectance dans le visible. L'absence de pic dans le proche infrarouge s'explique par l'absence d'activité chlorophyllienne.

Selon *Diédhiou et al. (2020)*, quand l'eau est turbide ou peu profonde, sa réflectance élevée dans le visible lui donne une teinte claire très différente de l'eau profonde. Ici, la **classe 4** dont le comportement spectral est celui de l'eau peu profonde correspond à des bassins d'eau fréquents dans les zones soumises à des saisons sèches.

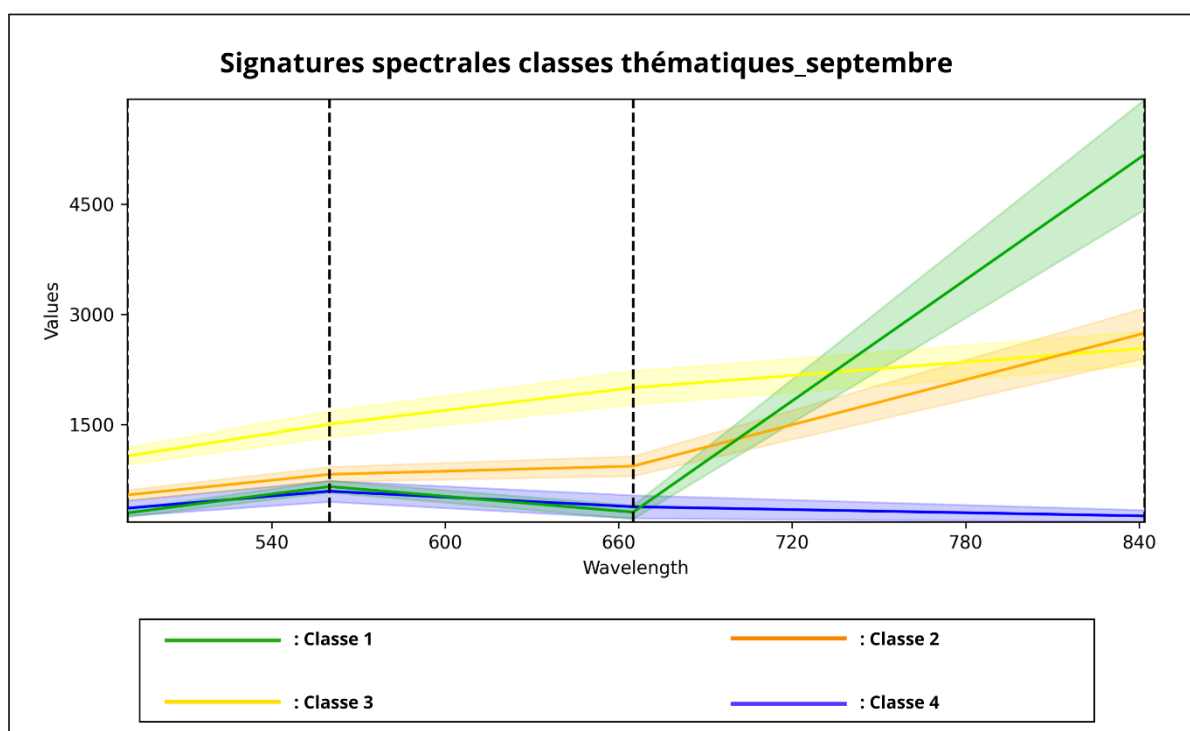


Figure 7: Signatures spectrales des échantillons d'apprentissage de l'occupation de l'image de septembre. (Source : Auteur rapport).

L'analyse des signatures spectrales des échantillons d'occupation du sol de septembre (**figure 7**) montre des caractéristiques similaires à celles de février, en raison de la nomenclature identique des échantillons. Rappelons que notre objectif est de fournir un diagnostic de changement sur la base des deux images pour caractériser les dynamiques culturelles entre l'hiver et l'été.

**La classe 1** montre une réflectance élevée dans le proche infrarouge et une absorption dans le visible (longueur d'onde du bleu et du rouge), typique des plantes matures à forte chlorophylle.

**La classe 2** montre une signature spectrale qui augmente progressivement du visible au proche infrarouge, avec un léger pic dans le proche infrarouge.

**La classe 3** montre un profil spectral en progression du visible au proche infrarouge et représente une surface claire sans végétation, ce qui explique sa forte luminance dans le visible.

La signature spectrale de la **classe 4** est typique d'une surface à eau.

## 2. Classifications supervisées mono-dates

Les classifications des deux images (février et septembre) ont été réalisées grâce au classifieur “**SCP (Semi-Automatic Classification)**” sur le logiciel Qgis (version 3.38.3). Quatre classes d'occupation du sol ont pu être caractérisées : **parcelle à culture en maturité** (classe 1), **parcelle à culture jeune** (classe 2), **sol nu** (classe 3) et **l'eau** (classe 4). Les différentes classifications ont pu être évaluées par les matrices de confusion représentées par les **tableaux 4 et 5** à travers le calcul de la précision moyenne, du rappel moyen et du F-Score. Ces tableaux affichent en diagonale, le nombre de pixels bien classés et hors diagonale, le nombre de pixels mal classés.

Tableau 4 : Matrice de confusion de la classification de l'image de février. (Source : Auteur rapport).

Classe	Parcelle à culture en maturité	Parcelle à culture jeune	Sol nu	Eau	Rappel
Parcelle à culture en maturité	5614	0	0	0	100
Parcelle à culture jeune	10	4807	5	0	99,69
Sol nu	9	20	5836	0	99,51
Eau	0	0	0	810	100
Precision	99,66	99,59	99,91	100	

La matrice de confusion montre une bonne classification de l'image, avec un **rappel moyen de 99,79 %**, une **précision moyenne de 99,80 %** et un **F-Score de 99,79 %**. Cependant, quelques confusions se sont produites :

- 10 pixels appartenant à la classe « parcelle à culture jeune » ont été confondus avec la classe « parcelle à culture en maturité » et 5 pixels confondus avec la classe « sol nu » ;
- 9 pixels appartenant à la classe « sol nu » ont été confondus avec la classe « parcelle à culture en maturité » et 20 pixels ont été confondus avec la classe « parcelle à culture jeune ».

Tableau 5 : Matrice de confusion de la classification de l'image de septembre. (Source : Auteur rapport).

Classe	Parcelle à culture en maturité	Parcelle à culture jeune	Sol nu	Eau	Rappel
Parcelle à culture en maturité	5229	0	0	0	100
Parcelle à culture jeune	8	5428	1	0	99,83
Sol nu	0	0	5525	0	100,00
Eau	0	0	0	63	100
Precision	99,85	100,00	99,98	100	

La matrice de confusion indique une excellente classification de l'image, avec un **rappel moyen de 99,96 %**, une **précision moyenne de 99,96 %** et un **F-Score de 99,96 %**. Les pixels des classes « parcelle à culture en maturité », « sol nu » et « eau » ont été bien identifiés. Cependant, quelques pixels de la classe « parcelle à culture jeune » ont été confondus :

- 8 pixels appartenant à la classe « parcelle à culture jeune » ont été confondus avec la classe « parcelle à culture en maturité » et 1 pixel confondus avec la classe « sol nu ».



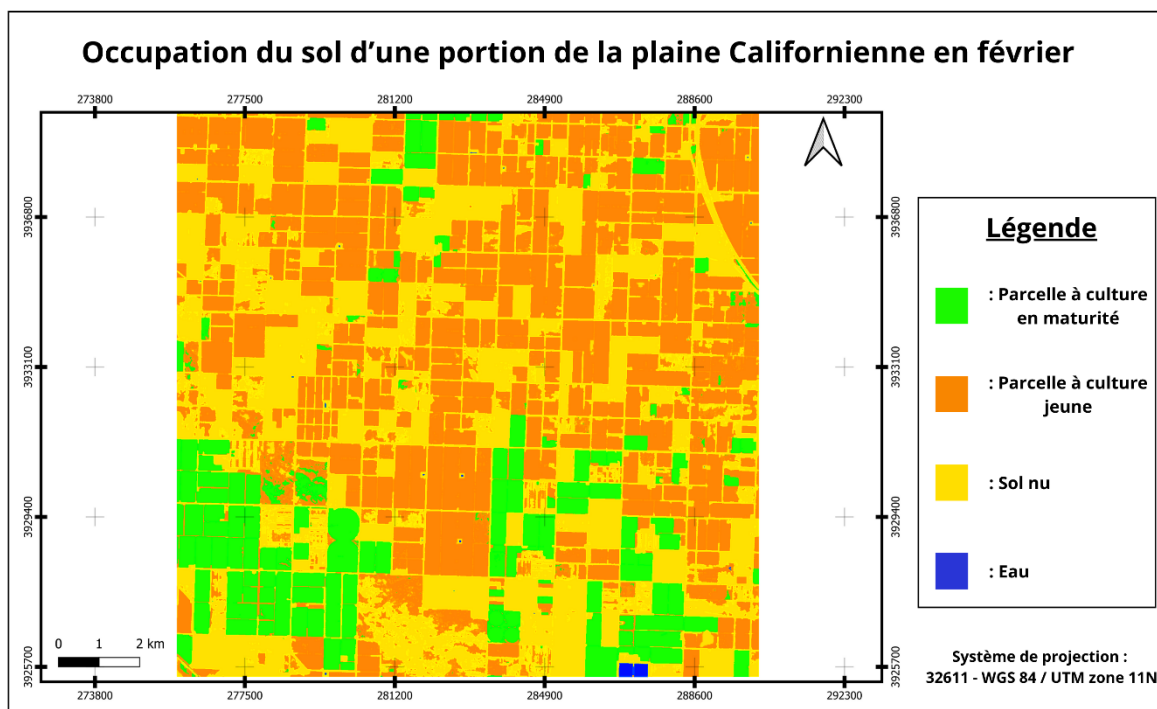


Figure 8 : Occupation d'une portion de la plaine Californienne en février. (Source : Auteur rapport).

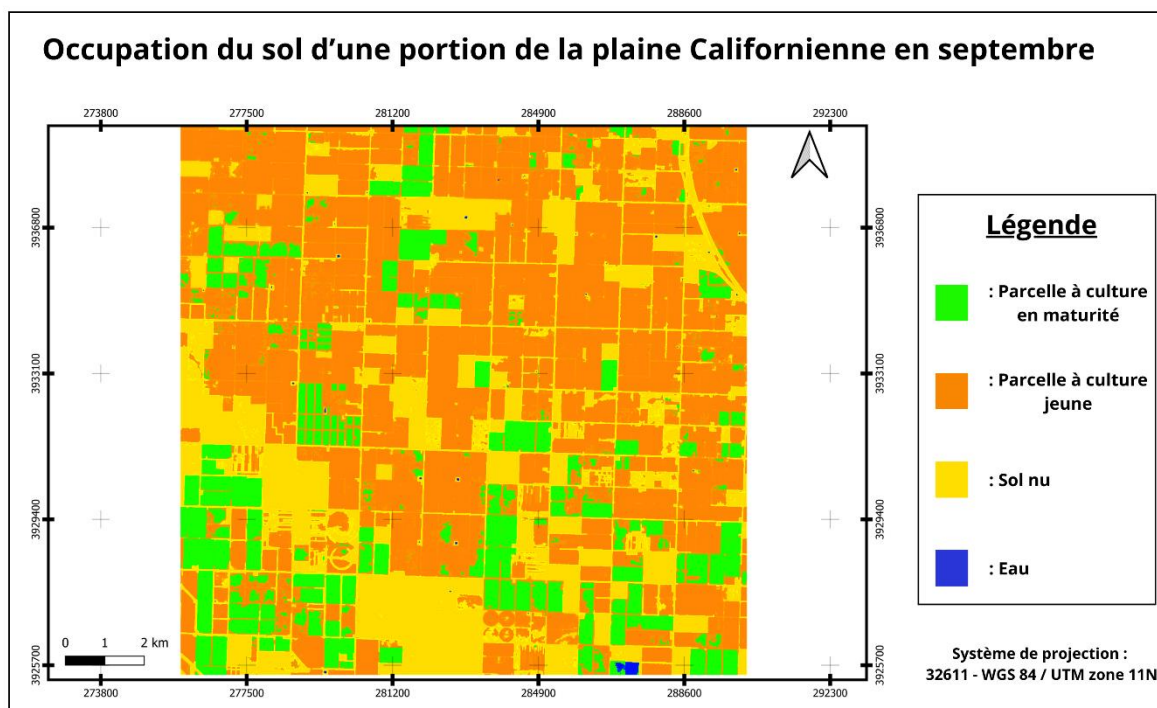


Figure 9 : Occupation d'une portion de la plaine Californienne en septembre. (Source : Auteur rapport).

Les **figures 8** et **9** présentent les états d'occupation du sol d'une portion de la plaine Californienne entre deux dates. Elle permet de percevoir les dynamiques culturales entre l'hiver (février) et l'été (septembre).



Le **tableau 6** présente les états de l'occupation du sol de la zone d'étude en février et en septembre. Ce dernier montre qu'en février et en septembre, la classe « parcelle à culture jeune » occupe la majorité des superficies de la zone d'étude avec une proportion de 51,79 % en février et une proportion de 59,57 % en septembre. Les sols nus occupent la deuxième classe dominante avec une proportion de 32,55 % en février et 24,03 % en septembre. La classe « parcelle à culture en maturité » occupe une proportion de 15,51 % en février contre une proportion de 16,23 % en septembre. La classe « eau » est la moins représentée avec une proportion de 0,15 % en février contre 0,14 % en septembre.

Tableau 6 : Etats de l'occupation du sol en février et en septembre. (Source : Auteur rapport).

Classes	Superficie en février		Superficie en septembre	
	en ha	en %	en ha	en %
Parcelle à culture en maturité	3 157,80	15,51	3 306,10	16,23
Parcelle à culture jeune	10 544,91	51,79	12 131,89	59,57
Sol nu	6 628,57	32,55	4 893,87	24,03
Eau	3 1,37	0,15	28,79	0,14
Total	20 362,65	100,00	20 362,65	100

### 3. Carte de changement

La carte de changement entre les mois de février et de septembre est présentée par la **figure 10**.

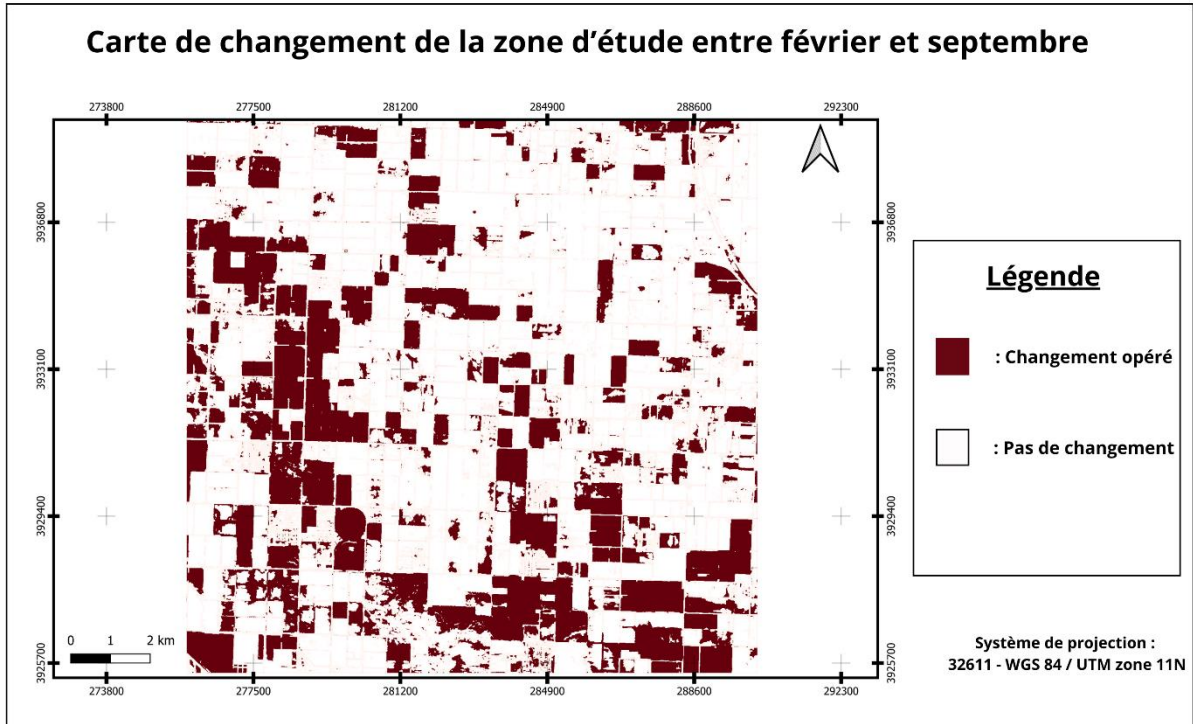


Figure 10 : Carte de changement entre février et septembre. (Source : Auteur rapport).

La carte illustre deux catégories de couleurs : la couleur rouge sombre indique les surfaces ayant changé entre février et septembre, tandis que la couleur blanche représente celles restées inchangées. Pour évaluer quantitativement les dynamiques culturelles entre l'hiver et l'été, nous avons déterminé les taux d'évolution.

#### ▪ **Calcul du taux d'évolution**

La dynamique de chaque catégorie d'occupation sera appréciée en calculant le taux d'évolution  $E(i, k)$  des superficies d'occupation du sol de la façon suivante (Bidossessi et al., 2021) :

Soit  $S_i$  la superficie d'une catégorie d'occupation du sol de l'année  $i$  et  $S_k$ , celle d'une catégorie d'occupation du sol de l'année  $k$ , avec  $k > i$ .  $E(i, k)$  sera égale à :

$$E(i, k) = \frac{S_k - S_i}{S_i} \times 100$$

Si  $E(i, k) = 0$ , on conclut qu'il y a stabilité de cette catégorie d'occupation du sol ;

Si  $E(i, k) < 0$ , on conclut qu'il y a régression de cette catégorie ;

Si  $E(i, k) > 0$ , il y a extension ou évolution de cette catégorie.

Cet indice est calculé pour toutes les catégories d'occupation du sol. Il permet d'apprécier l'évolution des différentes catégories d'occupation du sol entre deux périodes.

*Tableau 7 : Taux d'évolution des classes d'occupation du sol entre février et septembre. Tx : taux d'évolution en pourcentage ; (+) progression ; (-) régression. (Source : Auteur rapport).*

Classes	Superficie (en ha)		Tx (%)
	Février	Septembre	
<b>Parcelle à culture en maturité</b>	3 157,80	3 306,10	+ 4,7
<b>Parcelle à culture jeune</b>	10 544,91	12 131,89	+ 15,05
<b>Sol nu</b>	6 628,57	4 893,87	- 26,17
<b>Eau</b>	3 1,37	28,79	- 8,22

L'analyse du **tableau 7** montre que les classes « parcelle à culture en maturité » et « parcelle à culture jeune » ont connu une progression, en revanche les classes « sol nu » et « eau » ont connu une régression de février à septembre.

- Il y a une légère progression de 148,3 hectares (soit +4,7 %) des parcelles à culture en maturité de février à septembre. Cela peut s'expliquer par l'évolution normale des cultures, avec des cultures qui atteignent leur stade de maturité en fin de cycle de croissance (coïncidant avec la période écoulée entre février et septembre). Cependant, la faible augmentation suggère que les cultures en maturité n'ont pas massivement augmenté, ce qui pourrait indiquer des conditions climatiques ou des stratégies agricoles spécifiques limitant cette progression (comme l'alternance entre cultures ou la mise en jachère de certaines parcelles).
- Pour la classe « parcelle à culture jeune », une augmentation significative de 1 586,98 hectares est observée (+15,05 %) de février à septembre. Cela reflète un dynamisme dans la plantation de nouvelles cultures durant cette période, ce qui est cohérent avec les pratiques agricoles où une deuxième saison de culture est souvent mise en place après la récolte initiale (double culture). Cette progression

montre une intensification de l'activité agricole dans les plaines, certainement soutenue par une irrigation efficace.

- La classe « Sol nu » a connu une régression importante de 1 734,7 hectares (-26,17 %). Cela indique une mise en culture de nombreuses parcelles qui étaient nues en février. Cette régression peut s'expliquer par une augmentation de la demande agricole ou à une meilleure gestion des terres, où des parcelles laissées en repos ont été exploitées pour de nouvelles plantations.
- Une légère régression de la surface d'eau de 2,58 hectares (-8,22 %) est observée. Ce recul pourrait refléter une réduction des bassins d'eau ou une baisse des niveaux d'eau naturels (baisse des précipitations), ce qui paraît logique vu le passage de la succession des saisons entre l'hiver (février) et l'été (septembre).

#### **4. Discussion**

En somme, nous avons trouvé des résultats relativement satisfaisants compte tenu des matrices de confusion de la classification des images de février et de septembre, avec des F-scores respectivement égaux à 99,79% et 99,96%. Cela peut notamment s'expliquer par la réalisation d'un échantillonnage bien réalisé et une mise en application sur une zone d'étude relativement petite. Toutefois, il a été nécessaire de réaliser différents échantillons pour obtenir de tels F-score. En effet, nous avons rencontré de nombreuses confusions relatives aux signatures spectrales de l'eau, des sols nus ainsi que du tissu/infrastructures urbains. En effet, le terrain d'étude présente dans son intégralité diverses formes d'eau (bassin, lac, cours d'eau). Ainsi, nous avons recensé des signatures spectrales liées à l'eau assez divergentes selon le type de ressource en eau. Par ailleurs, nous avons constaté que les sols nus et les infrastructures urbaines partageaient des signatures spectrales très similaires. Ainsi, par soucis de praticité, nous avons décidé de rassembler ces deux catégories en une seule classe pour éviter les erreurs de classification. De plus, nous relevons quelques confusions qui ont été recensées entre les parcelles à cultures matures et les parcelles à cultures jeunes par les deux matrices. Toutefois, ces confusions restent relativement peu nombreuses et soulignent bien que, de manière générale, la classification a été bien réussie. Relativement aux résultats du NDVI, ce dernier permet, certes, de mettre en évidence les activités chlorophylliennes émanant des parcelles agricoles étudiées, ce qui a été un

support supplémentaire dans la définition de nos classes thématiques. Toutefois, nous n'avons pas de renseignement en ce qui concerne un potentiel stress hydrique touchant les cultures. Ainsi, il paraît difficile de confirmer ou d'infirmer la seconde hypothèse posée dans le cadre de notre introduction, à savoir une moindre disponibilité des ressources en eau au mois de septembre, qui aurait une conséquence sur les cultures. Il paraît également difficile d'émettre des hypothèses quant aux raisons du volume important des sols nus recensés dans la zone d'étude pour le mois de février par rapport au mois de septembre. Ces derniers éléments pourraient être davantage documentés si un travail de terrain est réalisé. Il permettrait également une meilleure connaissance des cultures développées dans la zone d'étude. Nous pourrions enfin envisager un élargissement de cette étude avec d'autres zones d'études voisines à celle sélectionnée afin d'avoir des éléments comparatifs entre les dynamiques culturelles estivales et hivernales des différentes parcelles du comté de Kern. En effet, cette démarche permettrait de dresser des constats généraux et de distinguer les parcelles qui présenteraient des particularités propres.

## **Conclusion**

Cette étude de cas démontre bien qu'il existe des dynamiques culturelles propres aux saisons hivernales et estivales, comme en témoigne l'évolution entre les parts des modes d'occupation du sol de février et de septembre. Ainsi, l'hypothèse 1 qui soutenait cette idée est confirmée. Toutefois, nous ne relevons pas des différences très marquées, ce qui renvoie au fait que le mode d'agriculture exercée dans cette région demeure sans interruption d'une saison à une autre. L'hypothèse 2 demeure néanmoins difficile à confirmer car nous n'avons pas démontré une importante variabilité des superficies en eau recensées dans la zone d'étude au cours des deux saisons. C'est en cela que résident les principales limites de la méthode de télédétection ici employée. Nous suggérons alors la réalisation d'une étude de terrain comparative englobant différentes parcelles agricoles du comté de Kern voire du sud de la Vallée Centrale.

## Bibliographie

Bidosse T. A., Orekan V. a O., Paegelow M. et Tente B., 2021, 21 mars, Evaluation de l'occupation du sol dans la commune de Ouake (Nord Ouest Benin) à partir de la télédétection. Repéré à <https://hal.science/hal-02512888v1>

Canteneur P., 2019, Le Déméter 2019, *in Hors collection*. IRIS éditions, p.143-160. DOI : [10.3917/iris.abis.2019.01.0143](https://doi.org/10.3917/iris.abis.2019.01.0143)

Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B. et Lambin E., 2004, Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring : a review, *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), p. 1565-1596. DOI : [10.1080/0143116031000101675](https://doi.org/10.1080/0143116031000101675)

Diédhiou I., Mering C., Sy O. et Sané T., 2020, Cartographier par télédétection l'occupation du sol et ses changements : Application à l'analyse de la dynamique des paysages forestiers sénégalais entre 1972 et 2016, *EchoGéo*, (54). DOI : [10.4000/echogeo.20510](https://doi.org/10.4000/echogeo.20510)

Edwards G., 1990, *Image Segmentation, Cartographic Information And Knowledge-based Reasoning: Getting The Mixture Right*, Communication présentée au 10th Annual International Symposium on Geoscience and Remote Sensing, College Park, MD, USA. DOI : [10.1109/IGARSS.1990.688825](https://doi.org/10.1109/IGARSS.1990.688825)

Kisekka, Isaya, Charles Hillyer, David Zilberman, Felix Ogunmokun, Helen E. Dahlke, Karl Longley, Katrina Jessoe, Mallika Arudi Nocco, Manoj K. Shukla, Patrick Brown, Sharon Megdal, Scott Alan Bradford, Steven Ostojka, et Thomas Harter. 2023. « Groundwater and Sustainable Agricultural Systems under a Changing Climate in the Southwest US ». 2023:GC32C-04.

Voss K. A., Famiglietti J. S., Lo M., De Linage C., Rodell M. et Swenson S. C., 2013, Groundwater depletion in the Middle East from GRACE with implications for transboundary water management in the Tigris-Euphrates-Western Iran region, *Water Resources Research*, 49(2), p. 904-914. DOI : [10.1002/wrcr.20078](https://doi.org/10.1002/wrcr.20078)

Mann M. E. et Gleick P. H., 2015, Climate change and California drought in the 21st century, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(13), p. 3858-3859. DOI : [10.1073/pnas.1503667112](https://doi.org/10.1073/pnas.1503667112)

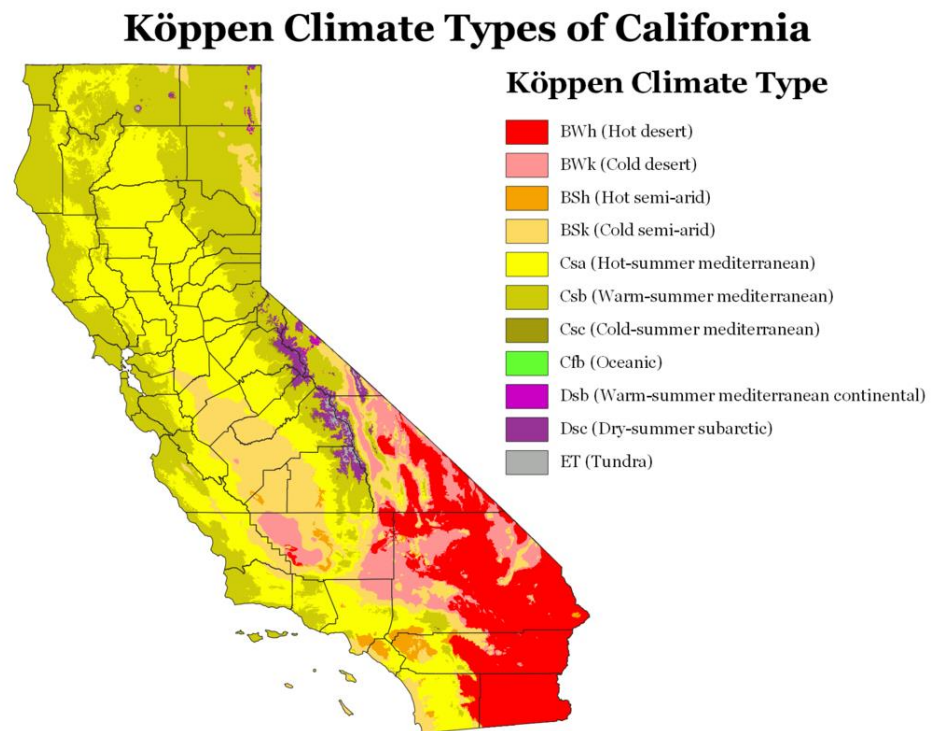
Pathak T., Maskey M., Dahlberg J., Kearns F., Bali K. et Zaccaria D., 2018, Climate Change Trends and Impacts on California Agriculture : A Detailed Review, *Agronomy*, 8(3), p. 25. DOI : [10.3390/agronomy8030025](https://doi.org/10.3390/agronomy8030025)

Pelletier C., 2017, 11 décembre, *Cartographie de l'occupation des sols à partir de séries temporelles d'images satellitaires à hautes résolutions* (Toulouse 3 - Paul Sabatier, Toulouse). Repéré à <https://hal.science/tel-01665121v2>

Postadjian T., (s. d.), *Vers une occupation du sol France entière par imagerie satellite à très haute résolution* (Paris-Est, Paris). Repéré à <https://theses.hal.science/tel-03045637>

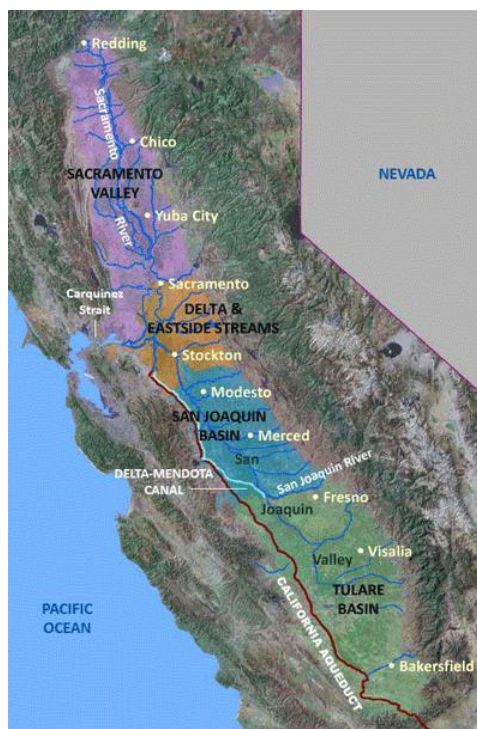
## Annexe

### Annexe 1 : Carte des climats californiens



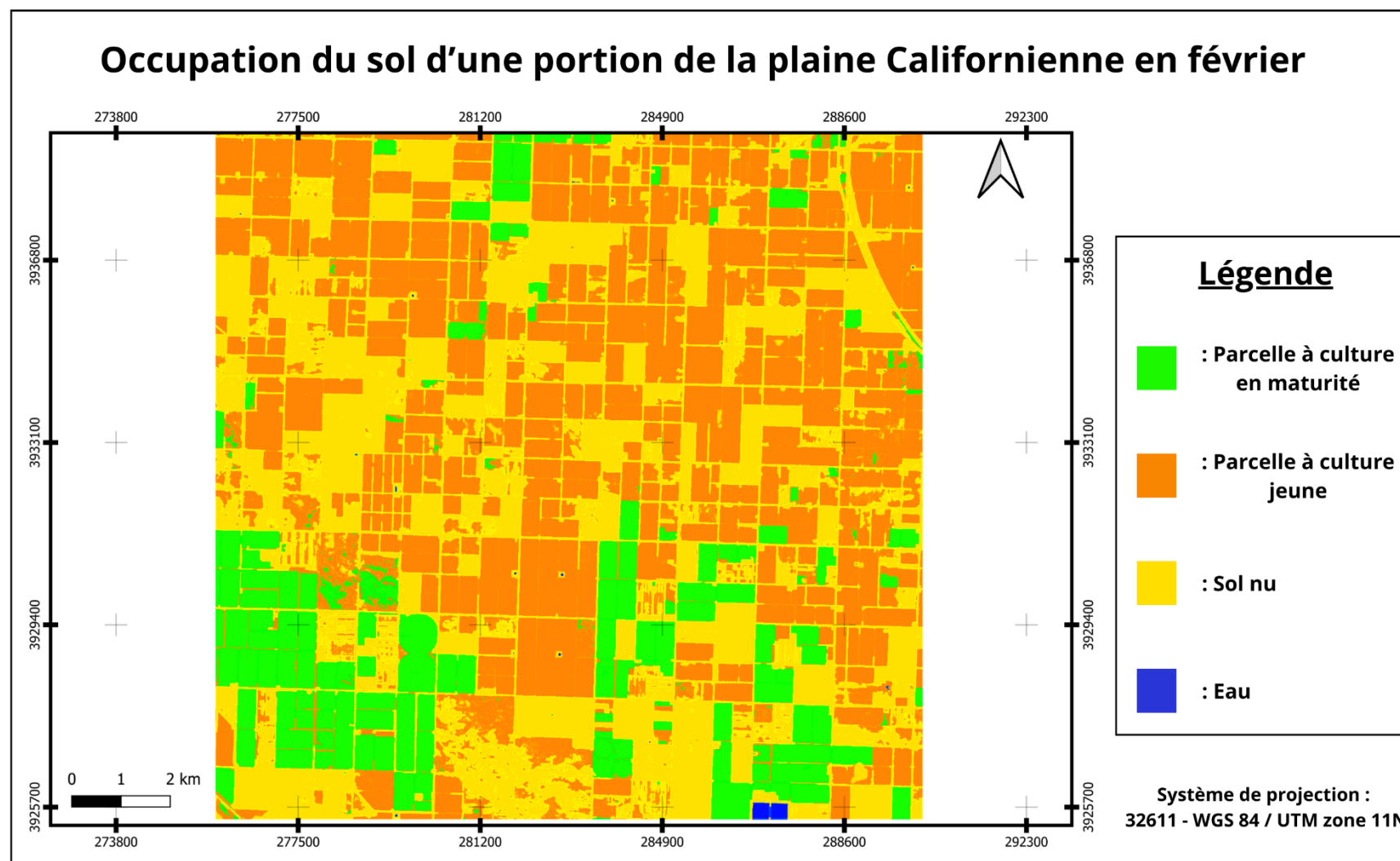
Data sources: 1991-2020 climate normals from PRISM Climate Group, Oregon State University, <https://prism.oregonstate.edu>; Outline map from US Census Bureau

### Annexe 2 : Carte de la Vallée Centrale de Californie. (Source : U.S. Geological Survey)

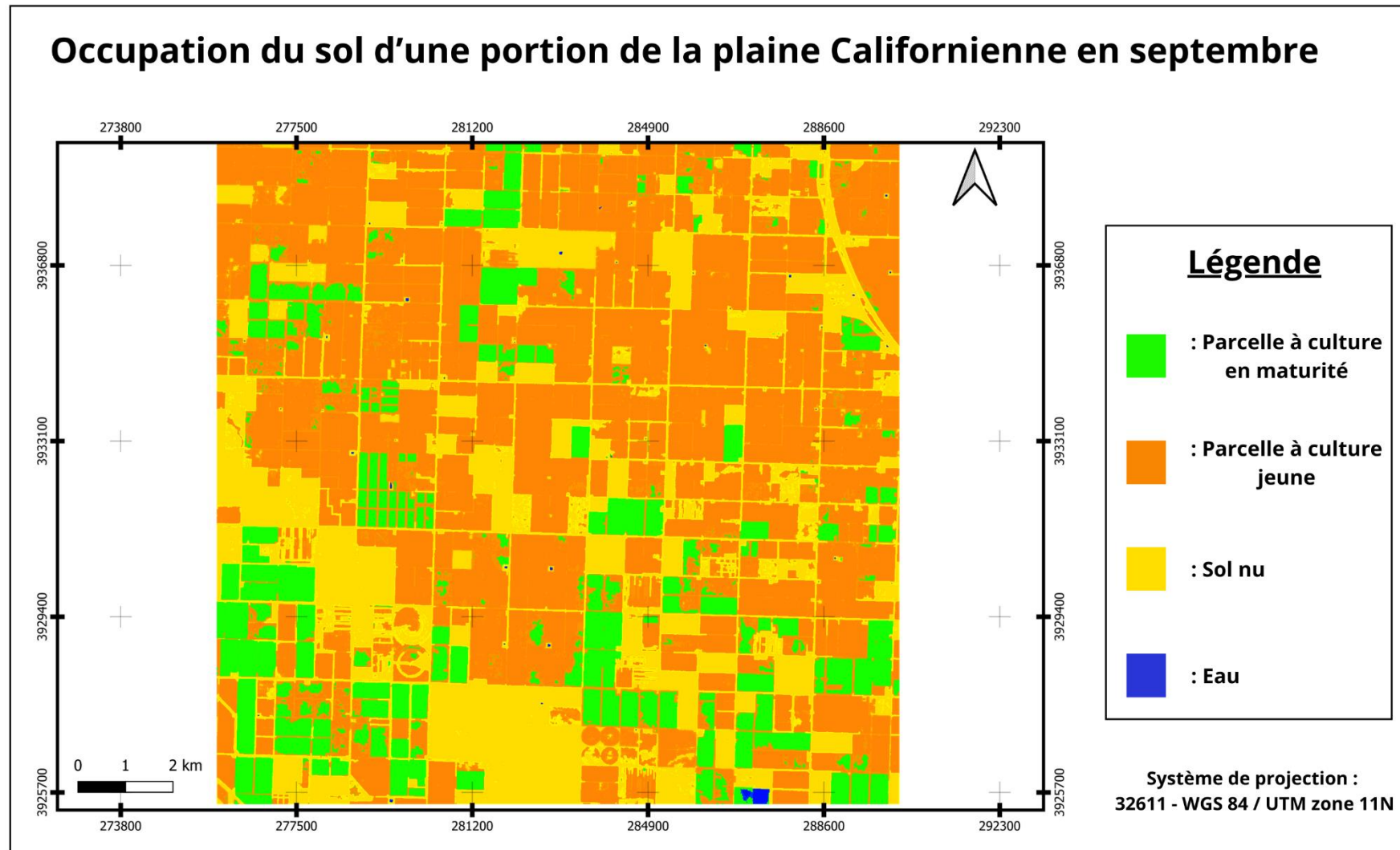




Annexe 3 : Carte d'occupation du sol de la zone d'étude en février (hiver). (Source : Auteur rapport).



Annexe 4 : Carte d'occupation du sol de la zone d'étude en septembre (été). (Source : Auteur rapport).



Annexe 6 : Carte de changement entre les deux saisons (hiver et été). (Source : Auteur rapport).

