



Programme de développement des initiatives de gestion intégrée de l'eau dans la vallée d'Arghen

Rapport du stage

La mise en place d'un E-Atlas de la vallée d'Arghen



Sommaire

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	1
I. Cartographie des données du Bassin d'Arghen	2
1. L'acquisition des données :	2
2. L'élaboration des cartes thématiques :	4
3. Création de la carte d'occupation du sol.....	10
3.1. Création d'indices spectraux	11
3.2. Crédit des sites d'entraînement	12
3.3. Classification de l'image	12
3.4. Post- Traitement de la classification.....	14
3.5. Validation de la classification.....	15
3.6. Génération de la carte d'occupation du sol :.....	16
II. Mise en place de l'application de géolocalisation du Bassin d'Arghen :.....	19
1. Outils et méthodologie.....	19
2. Résultats et discussion :	21
2.1. Composantes de l'application web mapping.....	21
2.2. Résultat.....	22

Liste des figures

Figure 1: La carte des douars du bassin d'Arghen.....	5
Figure 2 : La carte des routes du bassin d'Arghen.....	5
Figure 3 : La carte des centres de santé du bassin d'Arghen	6
Figure 4 : La carte des établissements du bassin d'Arghen	6
Figure 5 : Méthode de création du pente et réseau hydrographique à partir de MNT	7
Figure 6 : Carte d'altitude du Bassin d'Arghen.....	8
Figure 7 : Carte de pente du Bassin d'Arghen.....	8
Figure 8 : Carte de réseau hydrographique du Bassin d'Arghen	9
Figure 9: Carte de NDVI du bassin d'Arghen	10
Figure 10 : Résultat de la classification supervisée.....	13
Figure 11 : Résultat de Post traitement	15
Figure 12 : Résultat de validation d'occupation du sol par indice Kappa.....	16
Figure 13 : carte d'occupation du sol du bassin d'Arghen	17
Figure 14 : Pourcentage de superficie des différentes classes d'occupation du sol dans le bassin	19
Figure 15: Interface d'accéder à la bibliothèque OpenLayers	20
Figure 16 : La page principale d'hébergement local dans WampServer.....	21
Figure 17 : Composantes du dossier de l'application web mapping.....	22
Figure 18 : la page web de l'application	22
Figure 19 : Liste des couches s'affiche qui avec les cartes.....	23
Figure 20 : les informations qui s'affichent sous format Popup en cliquant sur un point d'intérêt.....	24

Liste des tableaux

Tableau 1: la Métadonnée des données d'Arghen	3
Tableau 2: Liste des indices utilisés pour cette étude.....	11
Tableau 3 analyse statistique des classes d'occupation du sol	18

Introduction

Dans le but d'avoir une bonne maîtrise sur la gestion des ressources et favoriser le développement de la région, l'association Experts Solidaires apporte depuis plusieurs années, son appui technique à la coopération intercommunale de la Vallée de l'Arghen. Cette collaboration est née de l'initiative de la coopération décentralisée, entre le département français de l'Hérault et les communes de la Vallée de l'Arghen au Maroc.

Cette mission porte sur la conception et l'utilisation d'un Système d'Information Géographique (SIG) qui intègre toutes les composantes et les variables du système hydrologique pour la gestion des ressources en eau dans la vallée d'Arghen. Pour encourager les communes à améliorer leur capacité de gestion des ressources en eau.

Ce travail va contribuer à la mise en place d'une base de données cartographiques pour aider les collectivités dans la gestion des ressources de la vallée. La mission comprendra plusieurs tâches dont on distingue :

- Structuration, consolidation et mettre à jour des bases de données ;
- Enrichissement des données du SIG par la production et le traitement des données et des cartes inexistantes ;
- Création de la carte d'occupation du sol ;
- Création de l'application Web-Mapping ;

I. Cartographie des données du Bassin d'Arghen

1. L'acquisition des données :

C'est la phase la plus importante pour la réalisation d'un SIG. Les données sont souvent très difficiles à acquérir car elles sont soit inexistantes ou dispersées. Et si elles existent, elles sont quelque fois erronées. Or pour une bonne fiabilité des SIG, il faut des données de qualité.

Les données acquises sont :

- Données satellitaires : Le premier choix, s'est porté sur les images Sentinel-2. Ces images sont très facilement accessibles directement via le portail Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/>).
- Données interne
- Données du terrain : Pour valider la méthodologie décrite dans ce rapport, nous avons besoin de données terrain
- Données externes

Le tableau suivant représente un résumé de Métadonnée des données collectée :

Tableau 1: la Métadonnée des données d'Arghen

Données	Type	Date de production	Description				Système de projection
			Source	Bandes		Format	
				Code	Nom	Résolution (m)	
Image sateliteaire Sentinel 2B	Image 1	13/10/2022	Plateforme : SENTINEL-2B Agence : ESA Site web : https://earthexplorer.usgs.gov/	1	Aérosols	60	
				2	Bleu	10	
				3	Vert	10	
				4	Rouge	10	
				5	Red Edge 1	20	
				6	Red Edge 2	20	
				8	Proche Infrarouge 1 (NIR1)	10	Raster (jpeg2000)
				8a	Proche Infrarouge 2 (NIR2)	20	Datum : WGS84
				9	Vapeur d'eau	60	Map Projection : UTM
				10	Cirrus	60	UTM Zone : 29N
				11	Infrarouge moyen 1 (SWIR1)	20	EPSG Code : 32629
				12	Infrarouge moyen 2 (SWIR2)	20	
MNT	Altitude	01/07/2007	Plateforme : ALOS Capteur : PALSAR Site web : https://search.asf.alaska.edu/	TCI	Image couleur naturelle (composite)	10	
				-	-	12.5	Raster (tif)
				-	-	-	Vectoriel (ligne)
Réseau routier	Réseau routier	2007 (Dernière mise à jour pour les pays bas)	OSM (Open Street Map) site web : https://www.openstreetmap.org/	-	-	-	Vectoriel (ligne) WGS 84 / Pseudo-Mercator EPSG : 3857

2. L'élaboration des cartes thématiques :

En cartographie de ces cartes thématiques, nous avons visualisé les données sur la base de concepts spatiaux bien géolocalisés. La collecte des données est constituée la clé principale de cette étape, nous avons fusionné les données provenant de la part d'équipe local d'Expert solidaire avec les données manquantes collectées à partir de différentes sources telles que les images satellitaires et les données de l'OpenStreetMap.

Nous distinguons plusieurs types de cartes, en fonction des variables spatiales utilisées. Les types de cartes sont les suivants :

La figure 1 représente la carte des douars qui se manifeste sous format points, elle représente les regroupements des habitations. Le point représente la localisation des centres des douars qui s'intersectent avec la délimitation du bassin d'Arghen, ce plan a été validé par l'ajout des douars manquantes en utilisant google earth

La figure 2 représente la carte des routes qui se manifeste sous format ligne, elle est constituée de l'ensemble des voies de communication terrestres permettant le transport par véhicules routiers au niveau de la zone d'étude. Une partie de ces routes sont exportées à partir de la plateforme OSM (OpenStreetMap). La donnée téléchargée a subi des corrections, des modifications et un filtrage en se basant sur le fond de la carte des rues et d'image satellitaire au niveau de QGIS. Le reste des routes est provenant de la part de l'équipe Expert Solidaire local. Ces routes sont classées en quatre classes :

- Routes Nationales : les routes qui traversent de larges portions du territoire et qui ne sont pas des autoroutes ou des voies express ou rapides ;
- Routes régionales : relient les pôles de moyenne importance au réseau national et permet d'assurer les échanges entre les pôles secondaires et primaires au sein d'une même région, entre les pôles secondaires aux interfaces de deux provinces ou d'une même province et entre les pôles secondaires et les chefs-lieux de provinces ;
- Routes Provinciales : relient les centres de petite et moyenne importance. Il permet d'assurer les liaisons entre chaque commune et les pôles dont elle dépend, les liaisons entre chaque chef-lieu de commune et les réseaux national et régional et les liaisons de continuité transversales ou radiales dans les zones densément peuplées ;

- Routes Communales : des routes à usage local. C'est en général des routes rurales pour l'exploitation agricole, ou d'accès à des fermes, des hameaux ou des usines isolées.
- Pistes : sont des chemins commodes en plaine ;

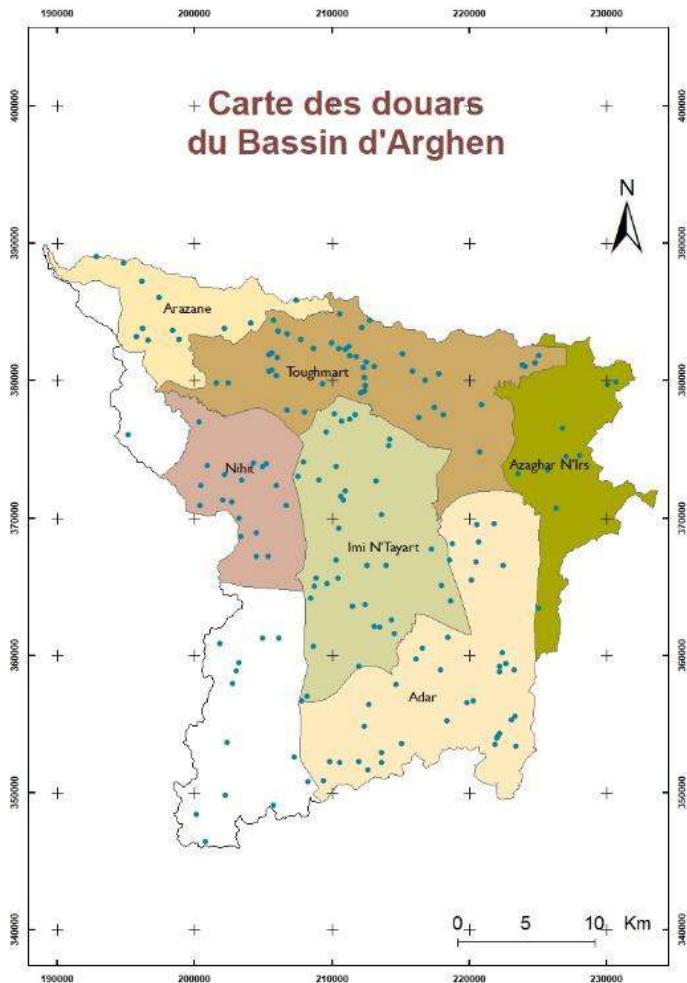


Figure 1: La carte des douars du bassin d'Arghen

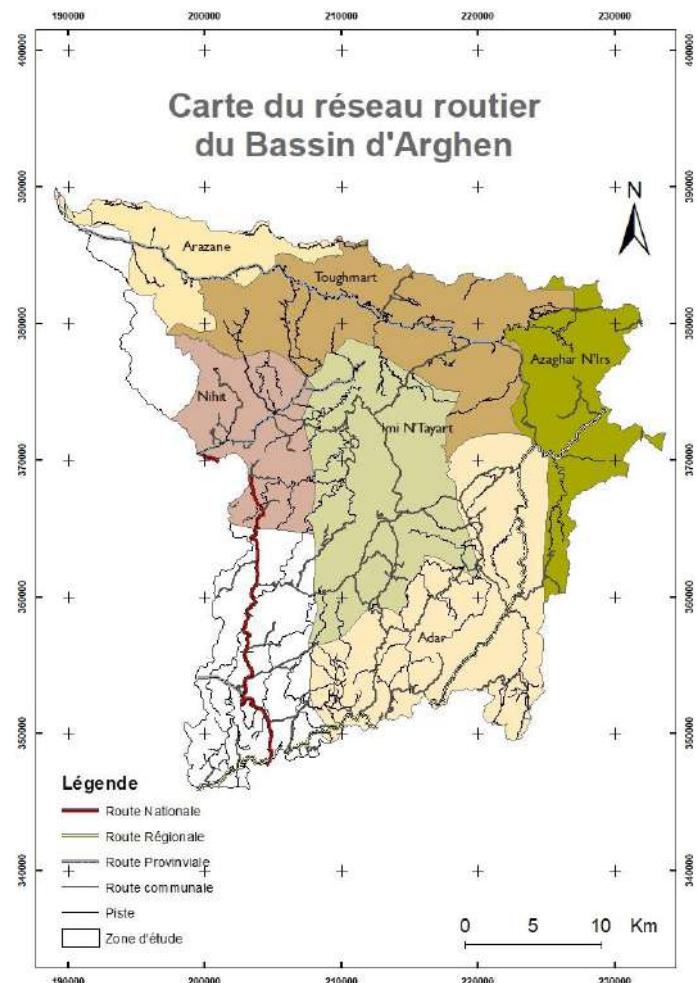


Figure 2 : La carte des routes du bassin d'Arghen

La figure 3 représente la carte des centres de santé qui localise les centres de santé trouvés dans le bassin d'Arghen. Ces centres sont classés en trois classes :

- Centre de santé rural niveau 1 : l'établissement de soins de santé primaires de premier contact en milieu rural. Il est placé sous la responsabilité d'un médecin généraliste assisté par un infirmier major. Il offre des prestations de santé préventives curatives et promotionnelles ;
- Centre de santé rural niveau 2 : est placé sous la responsabilité d'un médecin généraliste assisté par un infirmier major. Il offre outres, les prestations fournies par le centre de santé rural de premier niveau notamment : les soins obstétricaux

d'urgence de base, les analyses biologiques de base requises pour le suivi de la santé des femmes enceintes et des malades chroniques, et les examens d'échographie obstétricale ;

- Dispensaire rural : le plus petit établissement de soins de santé de base. Il constitue l'unité opérationnelle de premier recours, non médicalisée, la plus décentralisée du système sanitaire devant délivrer les soins de santé essentiels ;

La figure 4 regroupe les infrastructures relatives à l'éducation qui se présentent au niveau du bassin d'Arghen. Les types des écoles qui existent à Arghen sont des écoles primaires et secondaires.



Figure 3 : La carte des centres de santé du bassin d'Arghen

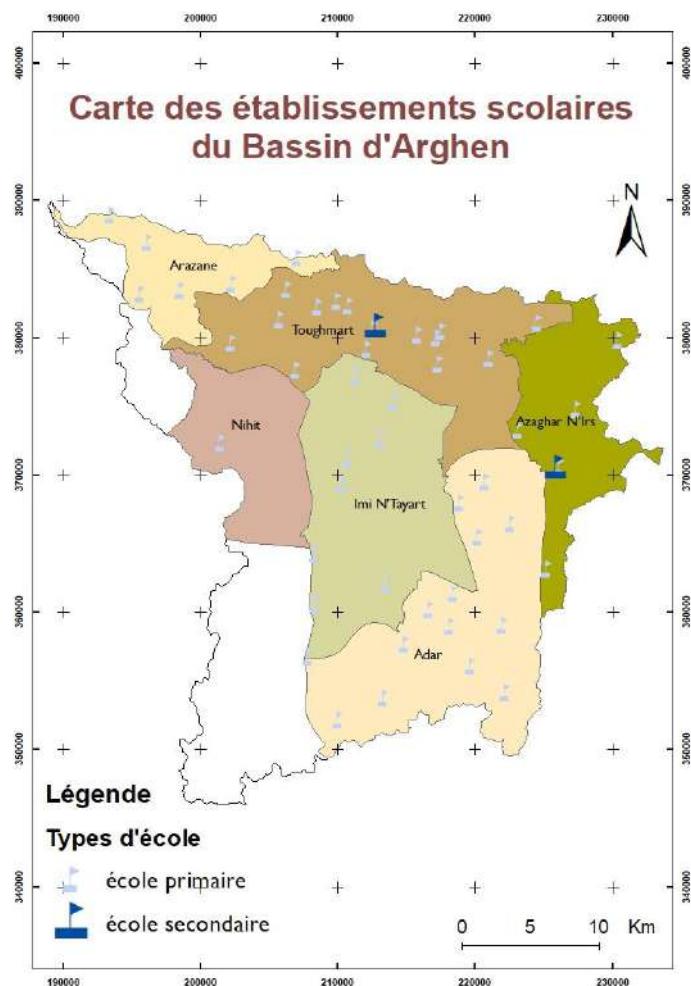


Figure 4 : La carte des établissements du bassin d'Arghen

Concernant le modèle numérique du terrain MNT (figure 6), il s'agit d'une représentation numérique du relief des valeurs d'altitude de la zone d'étude. Ce plan a été téléchargé à partir de la plateforme ALOS (site web : search.asf.alaska.edu) avec une résolution de 30 m. Nous nous

sommes basés sur ce MNT pour dériver d'autres plans à l'aide des logiciels SIG (précisément QGIS), qui sont le réseau hydrographique et la pente.

Dans un premier temps nous avons identifié et corrigé les dépressions dans le plan de MNT, ces zones de drainage interne (les dépressions) sont définies comme des cellules dont les huit mailles voisines sont d'altitudes plus élevées. Dans le cas de cellules de même altitude, une dépression peut alors se composer de plusieurs pixels. Le principal problème que pose les dépressions, est de piéger l'eau et d'empêcher la continuité des chemins hydrographiques. L'outil utilisé pour corriger ces dépressions est "Fill Sinks". Ensuite on a suivi les étapes suivant pour générer ces plans dériver :

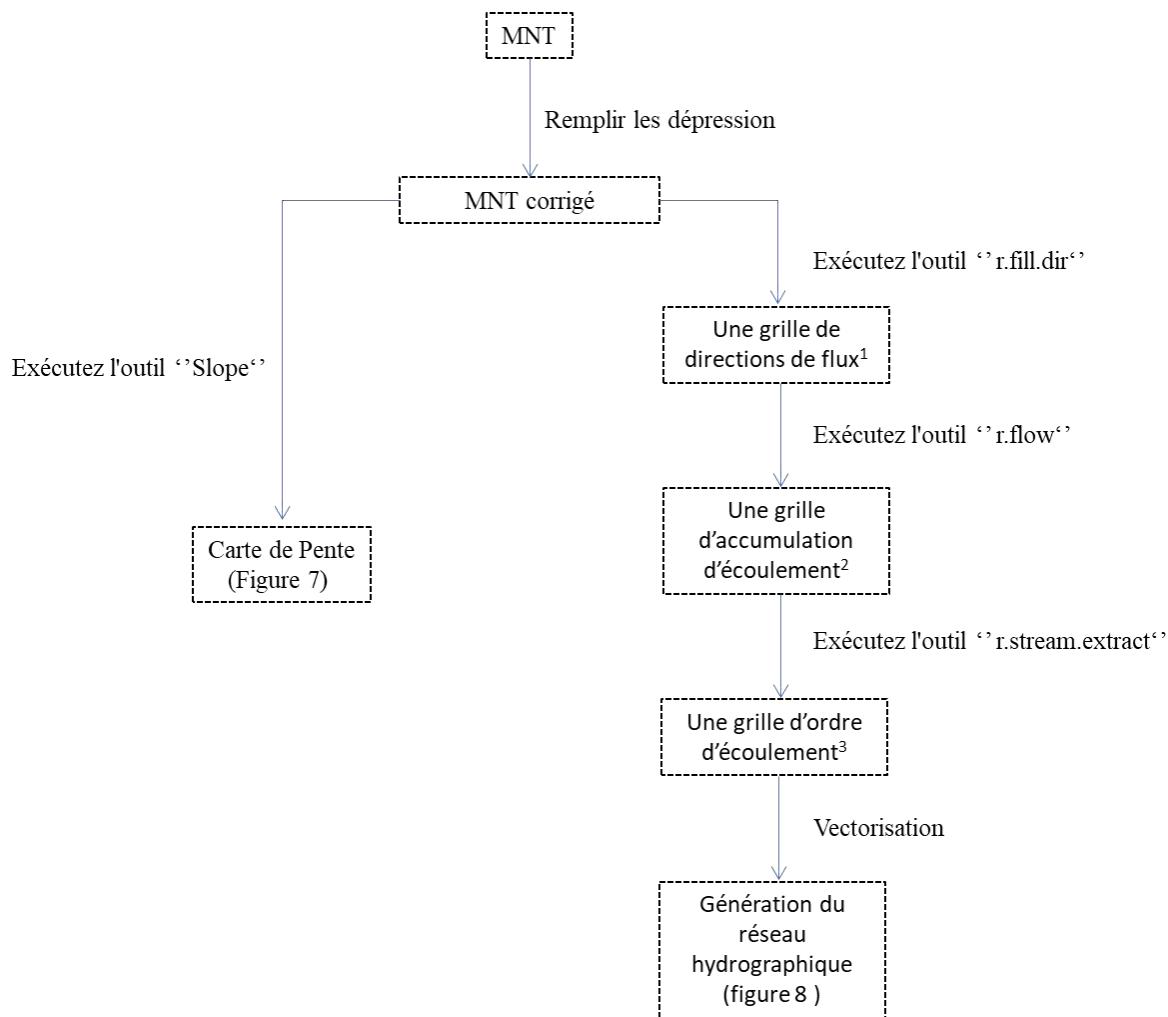


Figure 5 : Méthode de création du pente et réseau hydrographique à partir de MNT

1 : La direction de flux définies pour chaque cellule la direction d'une de ses 8 voisines, adjacentes ou diagonales, ayant la pente descendante la plus raide. Cette grille peut être obtenue depuis la sortie de l'outil "r.fill.dir" de GRASS.

2 : Le flux d'accumulation, correspond au nombre de cellules en montée qui s'écoulent dans chaque cellule. Cette grille peut être obtenue depuis la sortie de l'outil “r.flow” de GRASS.

3 : L'ordre d'écoulement contient des valeurs de cellules des cours d'eau ordonnées selon le système d'ordre de Strahler.

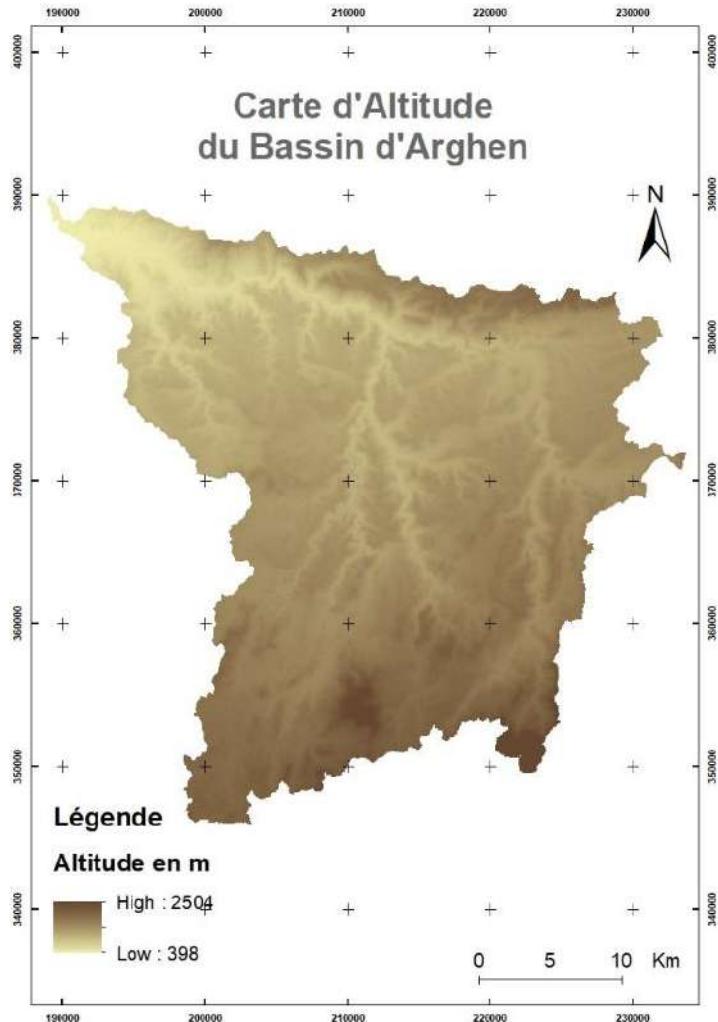


Figure 6 : Carte d'altitude du Bassin d'Arghen

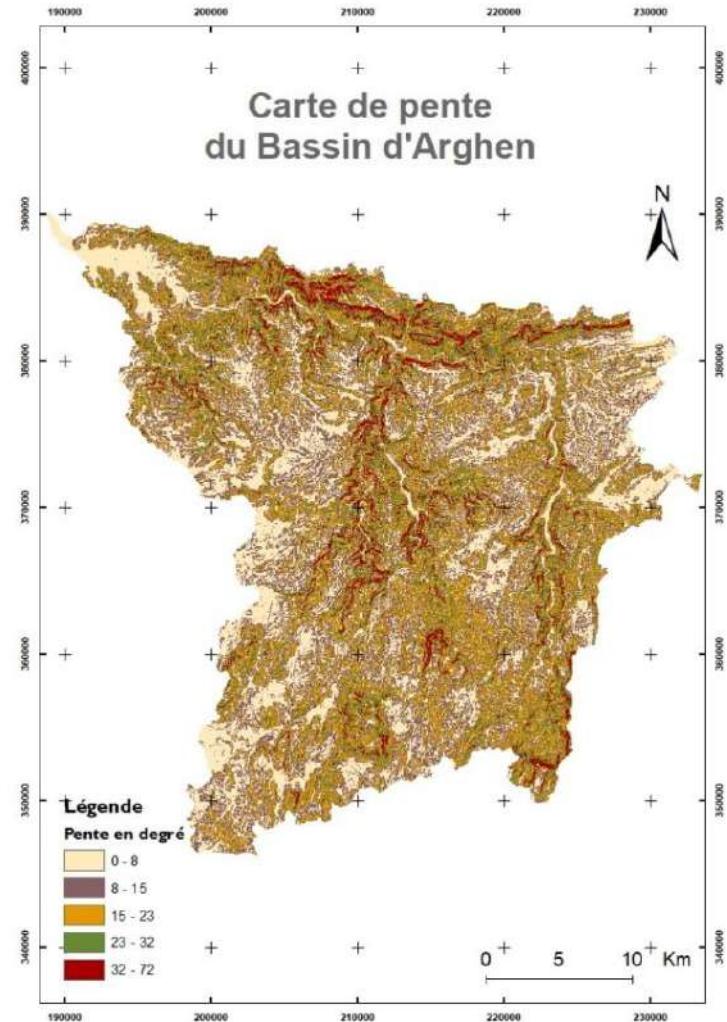


Figure 7 : Carte de pente du Bassin d'Arghen

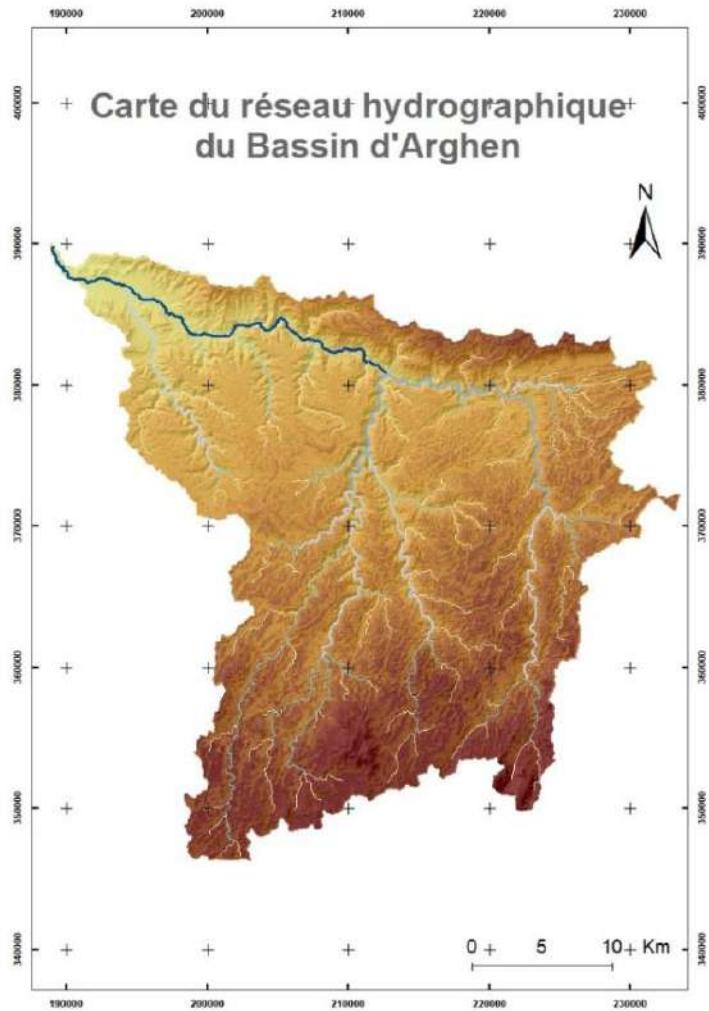


Figure 8 : Carte de réseau hydrographique du Bassin d'Argen

Concernant la carte de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), qui est un indicateur numérique qui utilise l'imagerie satellite pour mesurer la densité et la santé de la végétation dans une zone spécifique. Il est couramment utilisé dans l'agriculture, la foresterie et la recherche environnementale pour évaluer la quantité de végétation verte vivante dans une zone.

Les valeurs du NDVI varient de -1 à 1, les valeurs les plus élevées indiquant une plus grande abondance de végétation saine. Les zones avec de faibles valeurs NDVI peuvent indiquer une végétation clairsemée ou malsaine, comme les déserts, les plans d'eau ou les zones urbaines, tandis que les zones avec des valeurs NDVI élevées indiquent généralement une végétation dense et saine, comme les forêts, les prairies ou les champs cultivés.

Le NDVI est calculé à l'aide des valeurs de réflectance de la lumière visible et proche infrarouge capturées par un capteur satellite. La formule de calcul du NDVI est :

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Rouge}) / (\text{NIR} + \text{Rouge})$$

où NIR est la valeur de réflectance dans le spectre proche infrarouge et Red est la valeur de réflectance dans le spectre rouge.

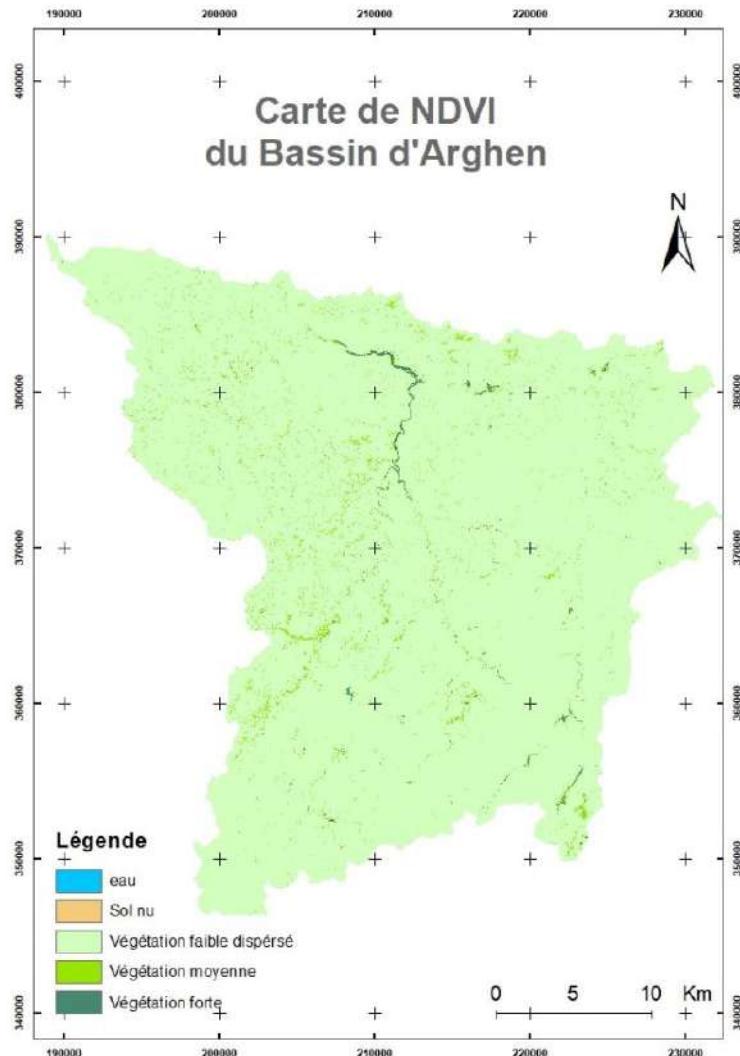


Figure 9: Carte de NDVI du bassin d'Arghen

3. Crédit de la carte d'occupation du sol

L'occupation du sol désigne le matériel physique et biologique qui recouvre la surface de la terre, y compris les caractéristiques naturelles telles que les forêts, les zones humides et les prairies, ainsi que les caractéristiques anthropiques comme les villes, les terres agricoles et les infrastructures de transport. La couverture terrestre peut être décrite en termes de type, d'étendue et de disposition spatiale de la couverture de surface, et constitue une composante importante des écosystèmes et des processus environnementaux de la Terre

Afin d'établir la carte d'occupation du sol nous avons utilisé la classification comme une technique de télédétection qui catégorise les pixels de l'image en classes basées sur la couverture

du sol. Cela se fait en comparant les valeurs de réflexion de différentes bandes spectrales dans différentes zones.

La création de cette carte d'occupation du sol avec QGIS implique généralement les étapes suivantes :

3.1. Création d'indices spectraux

Pour extraire des objets d'une image multispectrale, des indices peuvent être calculés, en combinant les bandes spectrales en opération. Les plus connus sont le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et le NDWI (Normalized Difference Water Index de Mac Fleeters), qui permettent respectivement de faire ressortir la végétation et l'eau. Il existe un grand nombre d'indices spectraux en fonction de l'objet recherché. Nous retenons les indices spectraux listés dans le

Tableau 22 ci-dessous pour cette étude.

Tableau 2: Liste des indices utilisés pour cette étude.

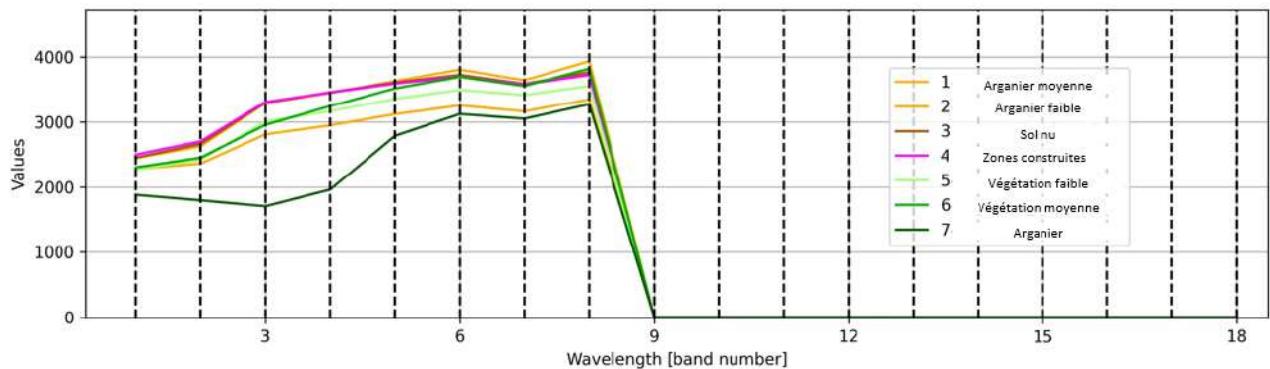
Indices testés	Formule
NDWI - Normalized Difference Water Index	(Vert-NIR)/(Vert+ NIR)
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	(NIR - Rouge) / (NIR + Rouge)
NDVI705 (Red Edge Normalized Difference Vegetation Index)	(VRE 2 - VRE 1) / (VRE 2 + VRE 1)
Photochemical Reflectance Index (PRI)	(Bleue - Vert) / (Bleue + Vert)
Pir - Bleue	-
Pir - Vert	-
Rouge - Vert	-
Ratio VegetationIndex (RVI)	(Rouge /PIR)
Wv-bi	(Bleue - VRE 1) / (Bleue + VRE 1)
Wv-si	(Bleue - Rouge) / (Bleue + Rouge)
Wv-wi	(Bleue - NIR) / (Bleue + NIR)

3.2. Création des sites d'entraînement

Afin d'établir la carte d'occupation du sol, nous avons utilisé le plugin SCP du logiciel QGIS, nous avons défini des régions d'intérêt (ROI) sur l'image multispectrale. Les ROIS sont des zones qui représentent les différentes classes d'occupation du sol que nous souhaitons classer en dessinant manuellement des polygones sur l'image multispectrale.

Nous avons utilisé les données de terrain collecté dans la sortie du terrain le 03 /11/2023 pour nous aider à bien distinguer entre l'arganier et d'autre type de végétation. Mais à cause de nombre de bandes utilisé dans l'image, le traitement d'une région d'intérêt (ROI) prend beaucoup du temps ce qui empêche de créer un grand nombre des sites d'entraînement.

L'évaluation primaire de la qualité de la classification se fait par le tracé de signatures spectrales des sept classes comme le graphique montre les valeurs d'un retour sur investissement pour chaque longueur d'onde. Les lignes pointillées représentent chaque bande de l'image Landsat. Comme on peut le voir sur ce graphique, l'agriculture, la végétation de faible densité et la végétation en moyenne densité ont toutes des valeurs très cohérentes au sein de leur classe, tandis que les deux classes Zones construites et Sol nu ont beaucoup plus hétérogène. Cela peut s'expliquer par la grande variété d'occupation du sol relevant de cette classe, allant de types des matériaux de constructions et les types des sols qui caractérise le bassin d'Arghen.



3.3. Classification de l'image

Après avoir défini les ROIS, SCP fournit des outils pour effectuer la classification et générer une image classifiée ; Nous avons entraîné un algorithme de classification en utilisant les ROIs comme données d'apprentissage. SCP prend en charge une gamme d'algorithmes de classification, nous avons utilisé l'assistant de classification de SCP pour former l'algorithme et définir ses paramètres, tels que le type d'algorithme « maximum de vraisemblance » et le type

de fonction du noyau à utiliser. Et une fois l'algorithme de classification formé, la carte classée affiché comme suit

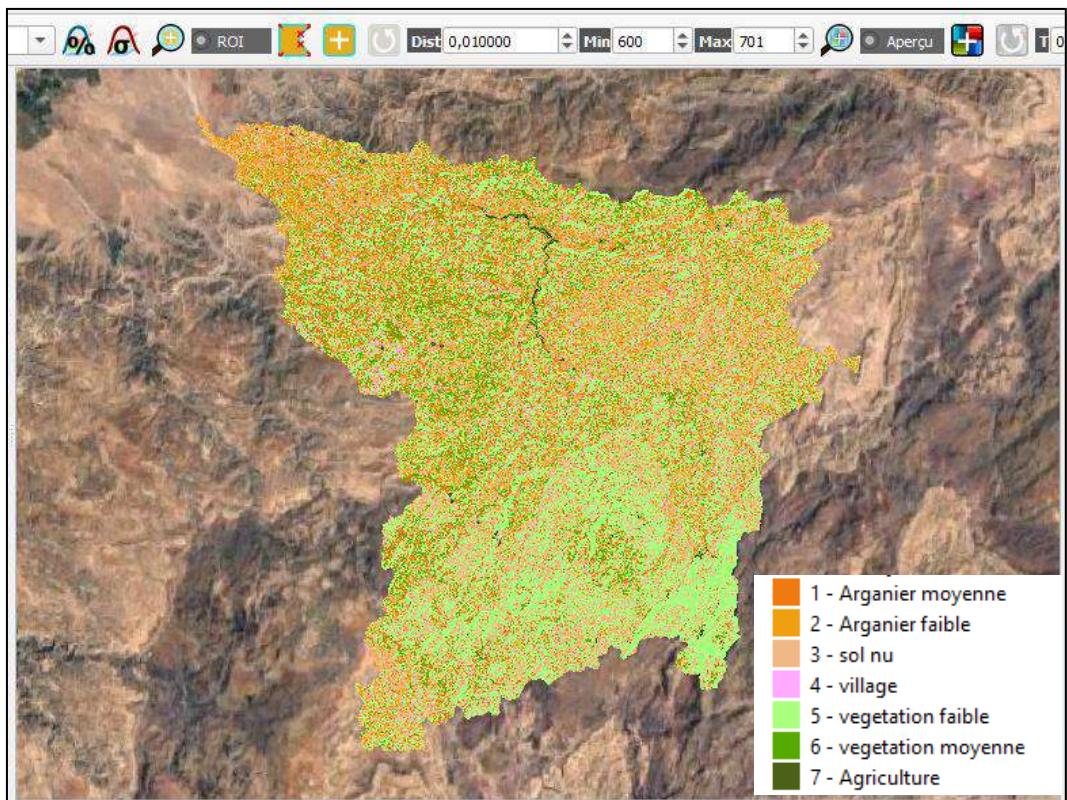


Figure 10 : Résultat de la classification supervisée

La figure nous montre le résultat de la classification supervisée qui comprennent L'arganier de densité moyenne, l'arganier en faible densité, Sol nu, Village, Végétation de faible densité (végétation courte, telles que des herbes, des arbustes ou des plantes herbacées),, Végétation de moyenne densité et les zones agricoles.

Bien que la carte de la couverture terrestre de la zone d'étude fournit des informations précieuses sur la répartition et les caractéristiques des différents types de couverture terrestre, il convient de noter quelques limites et incertitudes.

Une limitation est que la classification de la couverture terrestre était basée sur des données de télédétection, qui peuvent ne pas saisir toutes les variations à petite échelle de la couverture terrestre qui sont présentes sur le terrain. Par exemple, il peut être difficile de faire la distinction entre les routes et le réseau hydrographique et aussi la distinction entre différents types d'agriculture ou de végétation qui ont des propriétés spectrales similaires dans les données de télédétection. Un autre point est la présence de petites zones isolées de pixels mal classés, qui sont causées par du bruit d'image ou des erreurs de classification. Donc l'étape de post

traitement soit nécessaire pour améliorer la précision globale de la classification de la couverture terrestre. Enfin, il peut y avoir des incertitudes quant à l'exactitude de la méthode de classification de la couverture terrestre qui a été utilisée pour créer la carte. Par exemple, certaines zones peuvent avoir été mal classées en raison d'erreurs dans les données ou de limitations de l'algorithme de classification.

En reconnaissant ces limitations et incertitudes, nous avons essayé d'améliorer le résultat dans la carte de la couverture terrestre

3.4. Post- Traitement de la classification

Une fois l'image classée, nous avons utilisé les outils d'analyse post-classification de SCP pour affiner les résultats et évaluer l'exactitude de la classification.

- Amélioration de la classification

Cribler la classification est une étape de post-traitement qui peut être utilisée pour affiner les résultats de la classification après que la classification initiale a été effectuée. Sur l'onglet "Post-processing" dans l'outil SCP nous avons sélectionné "Cribler la classification". Nous avons ajusté les paramètres pour affiner les résultats de la classification. Le paramètre le plus important est le paramètre "Taille minimale", qui définit la taille minimale (en pixels) des objets qui seront conservés dans l'image et la fonction affinera automatiquement les résultats de la classification en fonction des paramètres que nous avons définis.

Nous avons essayé différentes tailles en commençant par une taille minimale bas mais nous avons trouvé que le résultat a conservé de petites zones de pixels mal classés qui auraient dû être supprimées après nous avons essayé d'agrandir la taille jusqu'à la suppression des pixels mal classé mais beaucoup de zones construites sont supprimé. Ce qui nous permettra par la suite de numériser toutes les zones construites manquantes et de les ajoutés après.

La figure présente la carte classée après le crible et montre la différence entre l'image classé avant le traitement et après, a montré que la répartition spatiale des classes de couverture terrestre dans l'image de classification affinée ce qui permet d'améliorer la précision des résultats de la classification de la couverture terrestre et d'obtenir des résultats de classification de la couverture terrestre plus précis et plus fiables.

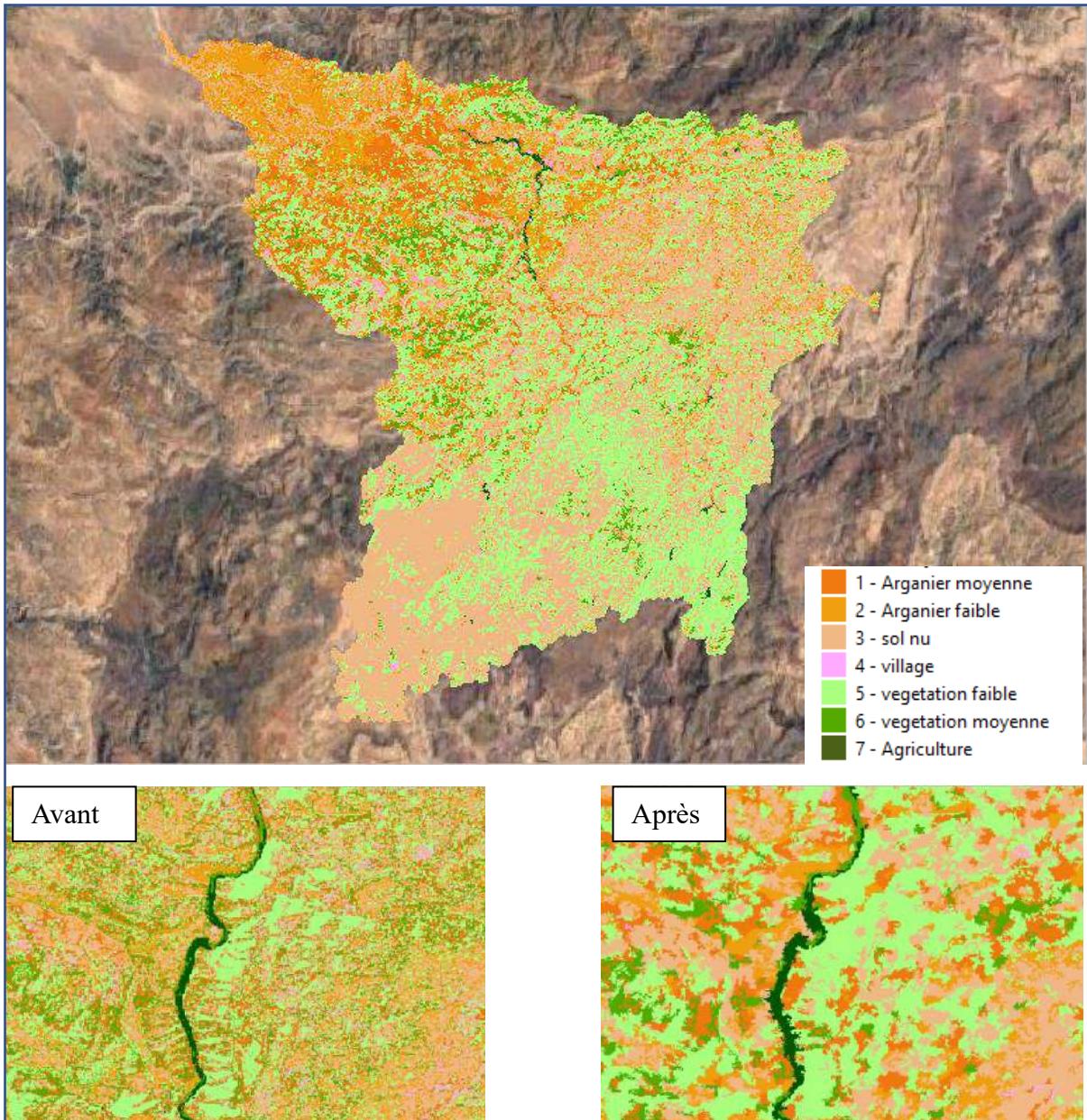


Figure 4 : Résultat de Post traitement

3.5. Validation de la classification

La précision globale est une mesure statistique utilisée pour évaluer la qualité d'une classification de la couverture terrestre en la comparant à des données de référence, qui peuvent être obtenues par une vérification au sol ou d'autres sources de données de validation. Il mesure la proportion de pixels correctement classés dans l'image et s'exprime en pourcentage. Pour calculer la précision globale, vous devez comparer l'image classifiée aux données de référence à l'aide d'une matrice de confusion.

Nous avons validé l'exactitude de la carte d'occupation du sol en la comparant à des points aléatoires générés par Qgis sur la carte classée à des relevés de terrain réalisés avec l'équipe

expert solidaire et avec les données google Earth. En utilisant l'outil « Précision » sous le plugin SCP de Qgis.

Le résultat nous montre que la précision globale est de 85.4238 %. Ce résultat est généralement considéré comme un bon niveau de précision pour une classification de la couverture terrestre dû la taille de l'échantillon des données de référence et la qualité des données de référence grâce à une vérification au sol plus précise ou d'autres méthodes de validation.

	ErrMatrixCode	Référence	Classified	PixelSum				
1	1	1	1	1				
3	1	2	2	2				
5	2	2	2	3				
11	3	3	3	14				
19	3	5	5	1				
18	5	3	3	1				
25	5	5	5	12				

> ERROR MATRIX (pixel count)								Total
> Référence								
V_Classified	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	2	3	0	0	0	0	0	5
3	0	0	14	0	1	0	0	15
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	1	0	12	0	0	13
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	3	3	15	0	13	0	0	34

> AREA BASED ERROR MATRIX								Area	Wi
> Référence									
V_Classified	1	2	3	4	5	6	7		
1	0.0850	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	88225500.0000	0.0850
2	0.0486	0.0730	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	126252500.0000	0.1216
3	0.0000	0.0000	0.4017	0.0000	0.0287	0.0000	0.0000	446826300.0000	0.4304
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5116600.0000	0.0049
5	0.0000	0.0000	0.0245	0.0000	0.2946	0.0000	0.0000	331287900.0000	0.3191
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	37699900.0000	0.0363
7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2731900.0000	0.0026
Total	0.1336	0.0730	0.4263	0.0000	0.3233	0.0000	0.0000	1038140600.0000	
Area	138726500	75751500	442521565	0	335592635	0	0	1038140600	
SE	0.0298	0.0298	0.0378	0.0000	0.0378	0.0000	0.0000		
SE area	30925420	30925420	39201635	0	39201635	0	0		
95% CI area	60613824	60613824	76835204	0	76835204	0	0		
PA [%]	63.5967	100.0000	94.2413	nan	91.1236	nan	nan		
UA [%]	100.0000	60.0000	93.3333	nan	92.3077	nan	nan		
Kappa hat	1.0000	0.5685	0.8838	nan	0.8863	nan	nan		

Precision globale [%]85.4238
Kappa hat classification = 0.7897

Figure 12 : Résultat de validation d'occupation du sol par indice Kappa

3.6. Génération de la carte d'occupation du sol :

Enfin, nous avons ajouté d'autres données enrichissantes pour la carte tel que les routes, le réseau hydrographique et les villages et la figure montre le résultat final de la carte d'occupation du sol

La carte de couverture terrestre montre la répartition spatiale des différentes classes de couverture terrestre dans la zone d'étude et peut être utilisée pour une gamme d'applications, telles que la planification de l'utilisation des terres au niveau du bassin, la surveillance environnementale contre les risques naturels et la gestion des ressources naturelles.

En comparant les différents types de couverture terrestre dans le bassin, nous pouvons voir que l'Arganier a tendance à être présente en nord du bassin dans les zones avec des altitudes moins élevées et, tandis que les zones agricoles et les villages ont tendance à être concentrées

dans des zones plus plates et à basse altitude avec un meilleur accès à l'eau en plus, nous pouvons voir que la végétation a tendance à être positivement corrélée avec le couvert urbain et agricole. En d'autres termes, la présence de l'homme dans cette zone à lier à la présence de l'eau.

Ces informations peuvent être précieuses pour orienter les recherches futures ou pour éclairer les décisions de planification et de gestion de l'utilisation des terres.

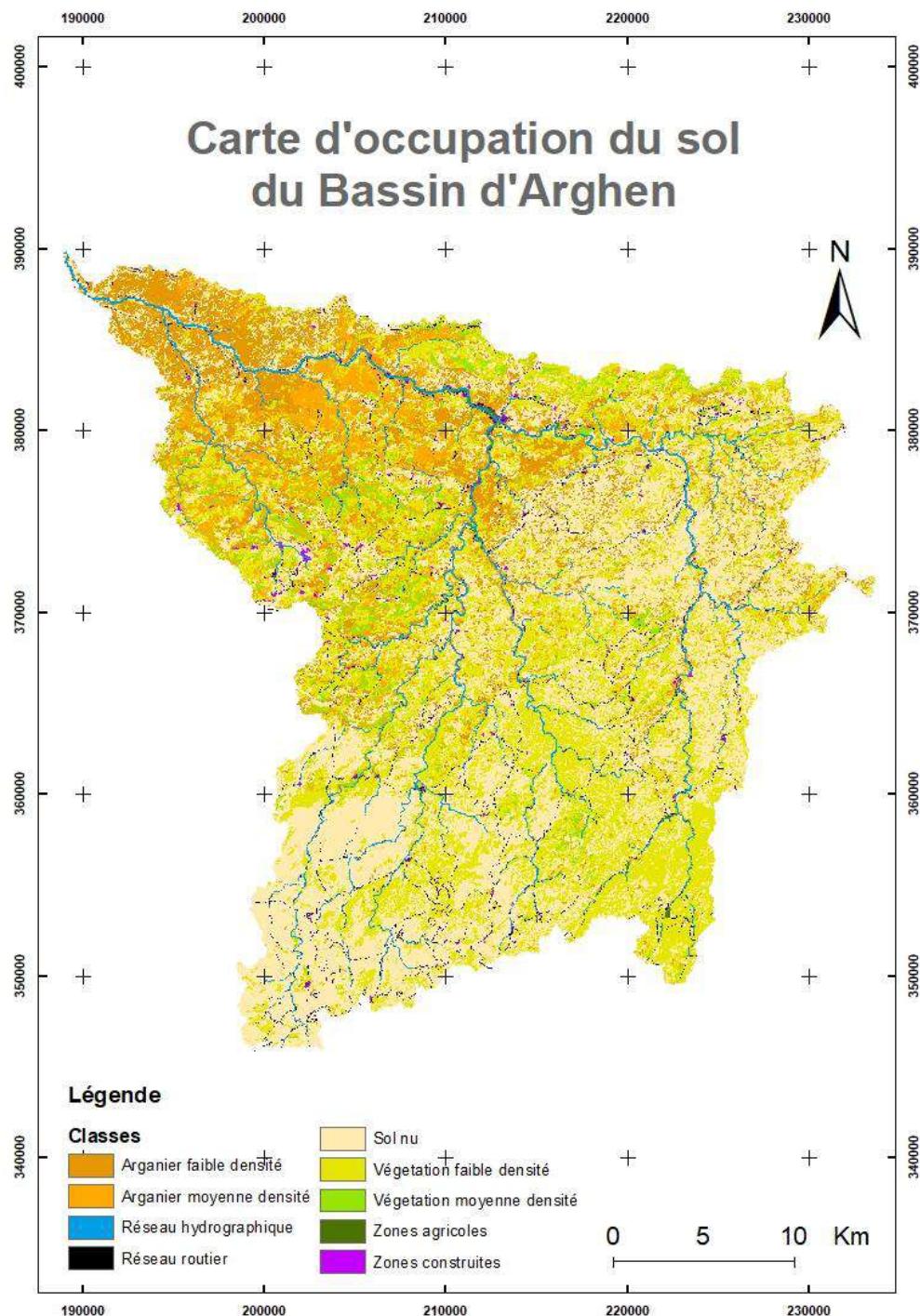


Figure 53 : carte d'occupation du sol du bassin d'Argen

À fin de mieux comprendre les caractéristiques physiques et environnementales du bassin d'Arghen Une analyse statistique a été réalisé pour fournir un contexte pour interpréter les résultats de toute analyse ou recherche ultérieure.

La carte de la couverture terrestre de la zone d'étude montre que les types de couverture terrestre dominants sont Sol nu, Végétation de faible densité et L'arganier de faible densité. Le sol nu comprend environ 41 % de la zone d'étude. Cela pourrait être dû à des facteurs naturels tels que la topographie, la majorité de cette couverture étant située dans les parties sud et Nord Est de la zone d'étude. La végétation de faible densité couvre environ 30 % de la zone d'étude, les plus grandes dispersée dans toute la zone d'étude. Ce pourcentage élevé de végétation de faible densité par rapport au végétation moyenne pourrait être dû au climat et la période d'acquisition de l'image satellitaire. L'arganier en général représentent environ 19% de la zone d'étude, la majorité de cette couverture étant située dans les parties Nord EST et est de la zone d'étude. Les 24 % restants de la zone d'étude sont composés de Végétation de moyenne densité, villages, Zones agricoles et d'autres types divers de couverture terrestre.

Tableau 3 analyse statistique des classes d'occupation du sol

Classes	Percentage
Arganier moyenne densité	7,785613
Arganier faible densité	11,625532
Sol nu	41,205823
Zones construites	0,379249
Végétation faible densité	30,82129
Végétation moyenne densité	3,37502
Zones agricoles	0,125324
Réseau hydrographique	3,258337
Réseau routier	1,423811

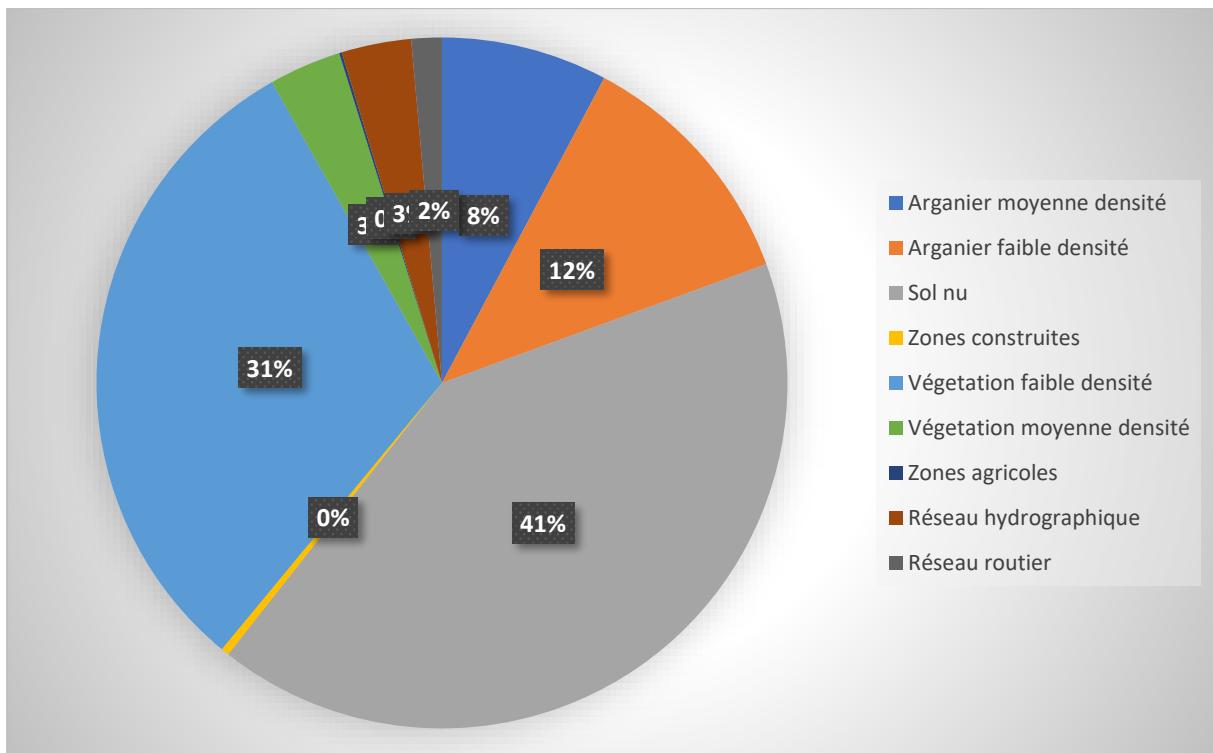


Figure 64 : Pourcentage de superficie des différentes classes d'occupation du sol dans le bassin

II. Mise en place de l'application de géolocalisation du Bassin d'Arghen :

1. Outils et méthodologie

Le choix des outils est basé sur des solutions open source qui peuvent répondre aux objectifs attendus. Cette désignation "open source" s'applique aux logiciels dont la licence respecte des critères précisément établis par l'Open Source Initiative. Ces logiciels offrent les possibilités de libre redistribution, d'accès au code source et de création de travaux dérivés. Mis à la disposition du grand public, ce code source est généralement le résultat d'une collaboration entre divers programmeurs.

L'architecture de cette application est basée sur trois composantes principales, et vise à modéliser, à présenter et à simplifier la maintenance de l'application :

- **La partie Client :**

Cette partie correspond à la partie de l'application visible et interactive avec l'utilisateur. Elle est structurée avec le langage HTML pour être exploitée par un navigateur (le choix a été fixé dans ce cas sur google Chrome).

Pour l'interface graphique, le choix a été fixé sur l'OpenLayers, qui facilite la mise en place d'une carte dynamique dans n'importe quelle page Web. Elle a été développée pour

faciliter l'utilisation d'informations géographiques de toutes sortes. L'intégration de cette bibliothèque peut se faire par deux méthodes différentes ;

- La première méthode est de télécharger la Library et de l'intégrer dans le dossier de travail. Dans ce cas, le travail sera hors connexion.
- La deuxième méthode est d'accéder directement en ligne à la bibliothèque à travers un lien qui permet de se connecter avec les API d'OpenLayers.

La capacité du navigateur à exécuter les scripts du langage JavaScript est nécessaire, notamment pour exploiter les fonctions de la bibliothèque OpenLayers.

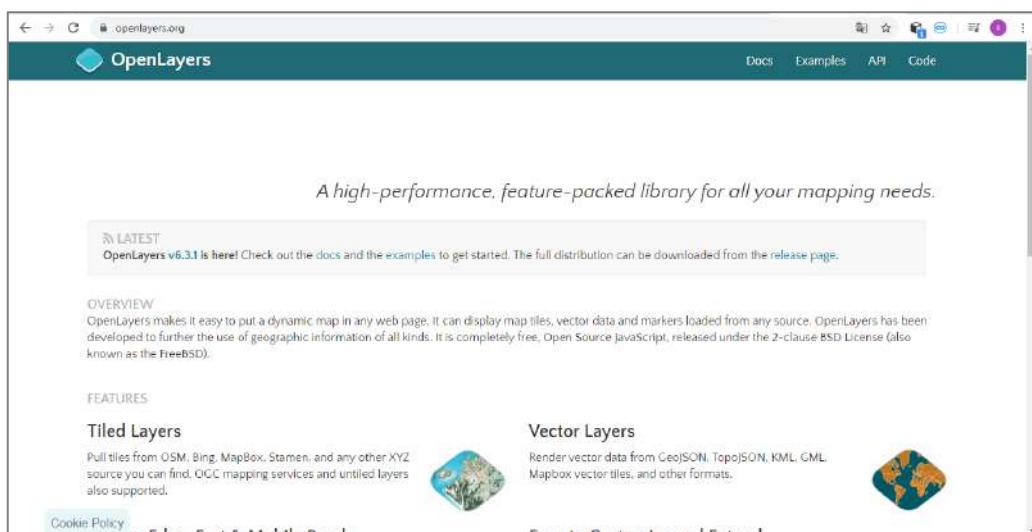


Figure 7: Interface d'accéder à la bibliothèque OpenLayers

- **La partie Serveur web :**

Elle correspond à la partie fonctionnelle de l'application. Elle implémente et décrit les opérations que l'application effectue sur les données en fonction des requêtes des utilisateurs effectuées à travers le client. Elle est composée du serveur web WampServeur qui permet le stockage et la diffusion des données.

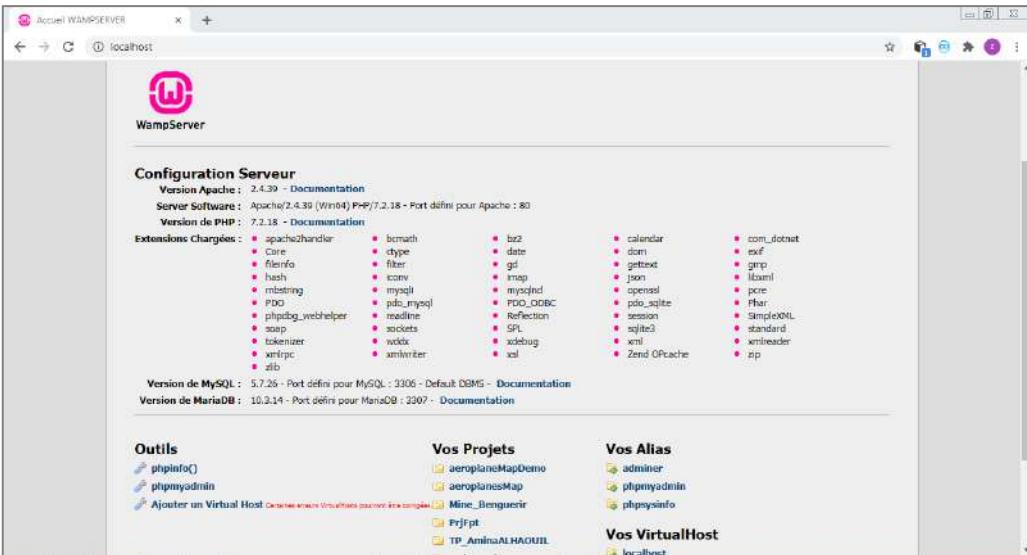


Figure 16 : La page principale d'hébergement local dans WampServer

• Langage de programmation :

La présentation du site a été développée en utilisant le langage de balisage hypertexte (HTML) et à l'aide de feuilles de style en cascade (CSS). HTML est utilisé afin de créer et de représenter le contenu d'une page web et sa structure, tandis que le CSS décrit la façon dont les éléments doivent être affichés à l'écran.

Les API d'OpenLayers sont écrits en langage de programmation JavaScript qui peuvent être employés en tant que langage procédural ou orienté "objet". Les objets sont créés par le programme auxquels des méthodes et des propriétés sont attachées lors de l'exécution.

2. Résultats et discussion :

2.1. Composantes de l'application web mapping

Le dossier est composé de :

- Un dossier CSS : constitué de différents fichiers “.css” utilisés comme style ;
- Un dossier GeoJSON : composée de différentes cartes affichées sur l'application sous format “.GeoJSON” ;
- Un dossier Raster : composée de différentes cartes affichées sur l'application sous format image ;
- Un dossier img : image utilisée comme icônes ;
- Un dossier JS : des codes écrit en langage javascript ;

- Un dossier lib : contient les différentes bibliothèques et les Framework utilisées à savoir le Bootstrap, le jQuery, et les styles d'écriture...
- Maps : fichier qui contient le code de l'application ;

 css	29/12/2022 14:51	File folder
 Geojson	13/12/2022 16:52	File folder
 img	13/12/2022 16:24	File folder
 js	12/12/2022 14:26	File folder
 lib	12/12/2022 14:26	File folder
 Raster	23/12/2022 11:18	File folder
 Maps	12/12/2022 13:07	PHP File

Figure 17 : Composantes du dossier de l'application web mapping

2.2. Résultat

Le codage de cette application a permis de réaliser une page web qui contient les différentes couches qui caractérisent le bassin d'Arghen.

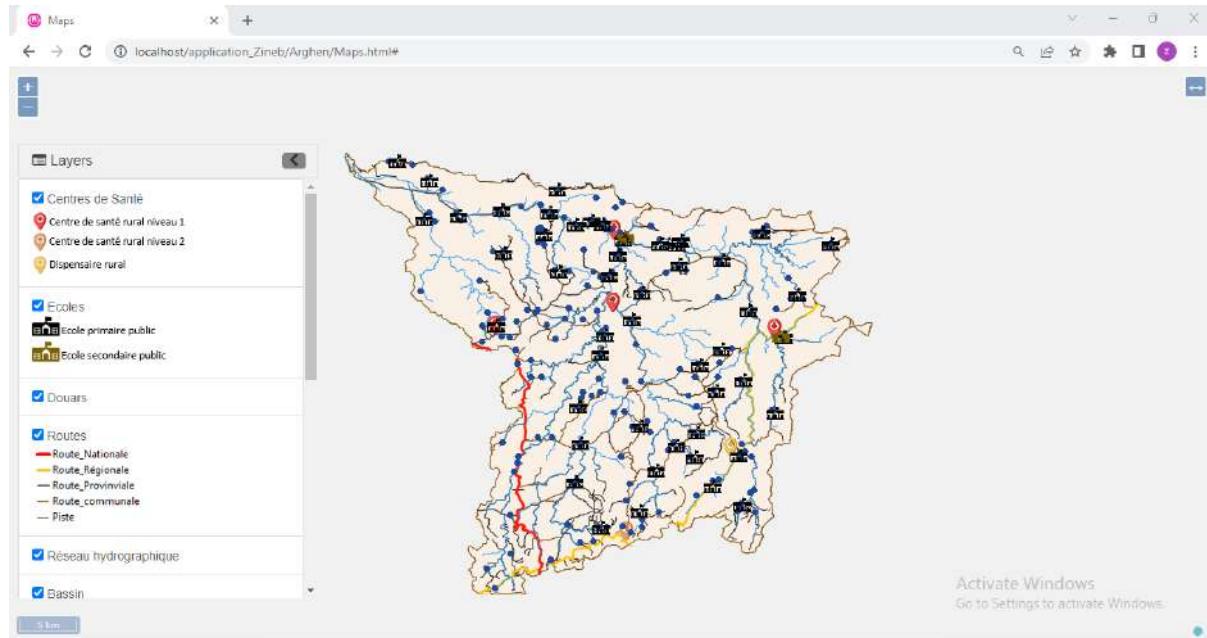


Figure 18 : la page web de l'application

Cette page est constituée des éléments suivants :

- Un espace d'affichage cartographique des données qui contient des cartes dynamiques permettant la visualisation des informations. Les couches d'intérêts se manifestent sous

format "GeoJSON", ce sont des objets géoréférencés. Tous les cartes à savoir la délimitation du bassin d'Arghen, la carte d'occupation du sol, la carte de distribution des établissement scolaires, la carte de distribution des centres de santé, la carte des douars, l'MNT, l'NDVI, la pente, et le réseau hydrographique sont superposées les uns sur les autres.

- Zoom In  qui permet de faire un rapprochement immédiat d'une zone ciblée sur la carte ;
- Zoom out  qui permet de s'éloigner d'une zone ciblée sur la carte ;
- Plein écran  qui permet d'afficher les cartes sur tout l'écran ;
- L'échelle  qui se modifie en fonction du niveau de Zoom de la carte ;
- L'affichage des coordonnées en haut de la carte selon la position du cursus ; 
- La liste des couches  qui permet d'afficher ou masquer les couches selon le besoin ;

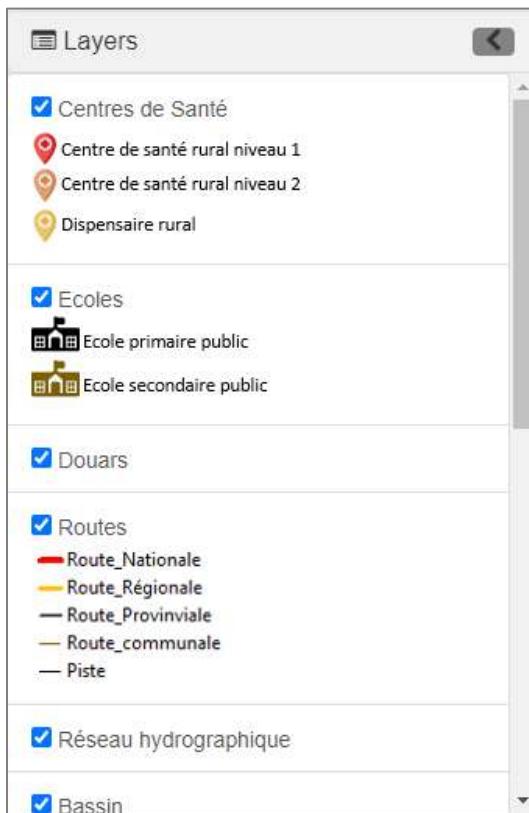


Figure 8 : Liste des couches s'affiche qui avec les cartes

- Un "pop-up" qui affiche les informations concernant le point d'intérêt. La possibilité d'afficher les données attributaires des couches dans un pop-up n'est active que

lorsque l'utilisateur clique sur la donnée recherchée. Les informations qui s'affichent sont :

- Pour la carte des douars : le nom, la commune, type ;
- Pour la carte d'éducation : nom de l'école, type ;
- Pour la carte de santé : nom du centre, type ;
- Pour la carte des routes : type ;

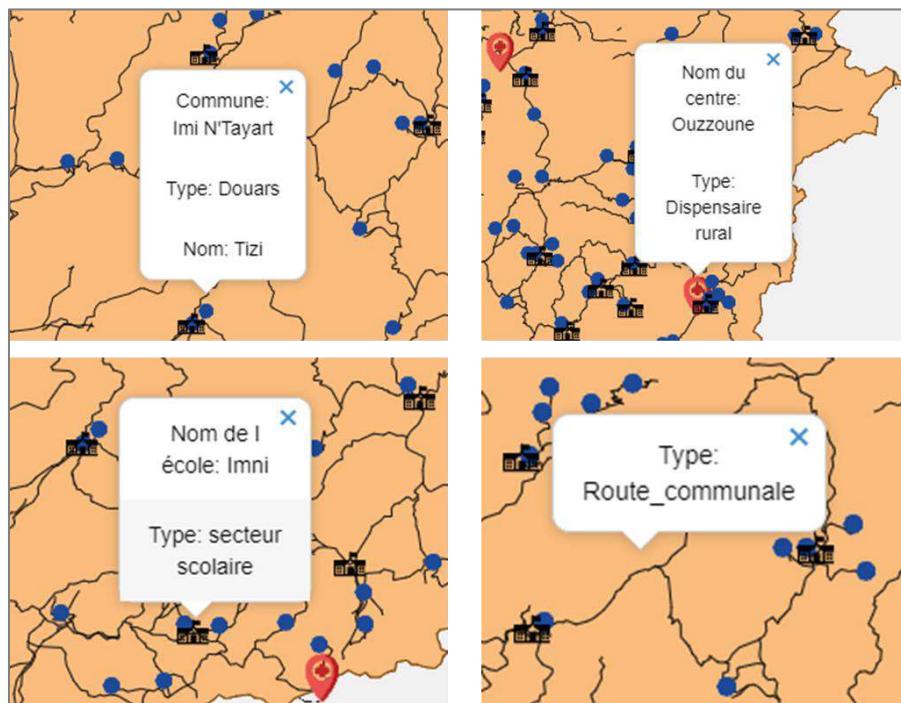


Figure 20 : les informations qui s'affichent sous format PopUp en cliquant sur un point d'intérêt

L'application créée est une interface web simple et facile à employer, et elle permet de naviguer sur les différentes cartes créées au niveau du bassin d'Arghen.