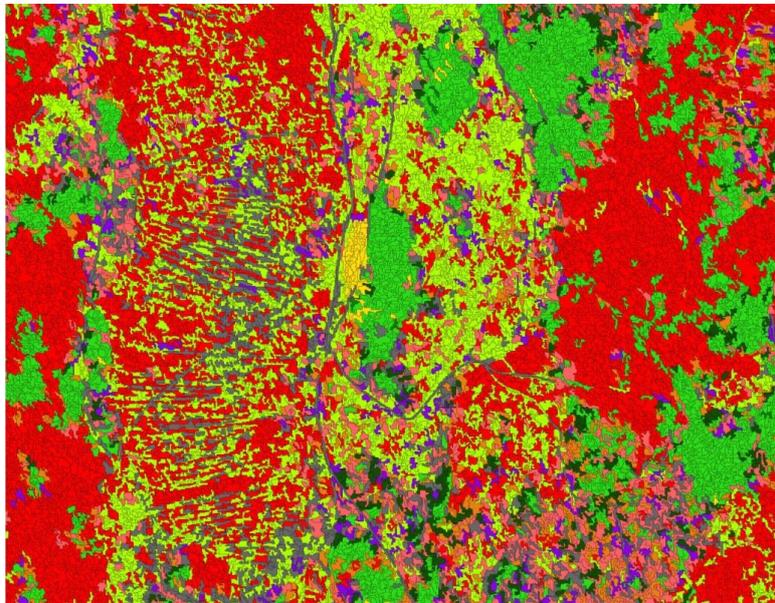


PROCESSUS DE CLASSIFICATION DU MILIEU FORESTIER



Arthur FAVREAU, Yanzhuo PENG, Anouk SCHLEICH,
Marie STRETTI, Lucas TACITO

Juillet/Août 2018

Table des matières

I. Présentation du sujet	4
1. Objectifs	4
2. Étapes	5
3. Définition des zones de travail	5
4. Données brutes	6
II. Classification	8
III. Vérité terrain	9
1. Fond de carte	9
2. Reconnaissance terrain	9
3. Numérisation de la vérité terrain	10
IV. PRÉ-Traitements	11
1. Segmentation	11
2. Attributs	12
a. Capteurs	12
b. Modèle numérique d'élévation	12
c. Indices de végétation	13
d. Indices de texture	13
3. Changement de résolution	13
4. Généralisation de la vérité terrain	15
V. Tests sur les attributs	16
1. Étude des attributs discriminants Spot6	17
2. Étude des attributs discriminants Sentinel2	18
3. Étude de la dimension temporelle	19
VI. Résultats	20
1. Forêt/Non forêt	20
2. Feuillus/Conifères/Autre ou Mixte	21
3. Forêt plantée/Forêt naturelle	22
4. Essences	23
VII. Bonus	24
VIII. ConclusionS	25
1. Bilans	25
2. Perspectives	26
IX. Bibliographie	27
X. Annexes	28

Ce projet a été réalisé par cinq étudiants de première année d'ingénieur de l'Ecole nationale de sciences géographiques lors du stage terrain à Forcalquier sur une durée de trois semaines. Le professeur encadrant est M. Marc Poupée, enseignant-chercheur en télédétection à l'Institut National Géographique.

L'étude de la forêt est essentielle pour analyser l'évolution du changement climatique reflétée par des changements d'essences d'arbres, la quantification de la déforestation au repérage des reprises forestières (après des incendies par exemple), ou la surveillance des plantations et des infections arboricoles.

Certaines de ces études sont menées par des chercheurs de l'IGN pour le CNES. Dans cette continuité, notre projet de fin de stage à Forcalquier est un projet de télédétection portant sur la différenciation des essences d'arbres de la région en s'appuyant sur une vérité terrain. Ce projet a vocation à être réutilisé ultérieurement par le CNES pour mener des études sur la répartition des forêts en France. Une autre dimension de ce projet est d'obtenir une valorisation économique de notre vérité terrain, dans le cadre d'un projet européen Copernicus. Ce projet, du nom de FPA, devrait s'étaler sur deux ans, et aurait pour finalité la valorisation des données satellites Sentinel. A terme, un web-service de vérités terrain pourrait être créé, combinant des données recueillies par divers établissements européens, et stockées sur les serveurs de l'ENSG.

I. PRESENTATION DU SUJET

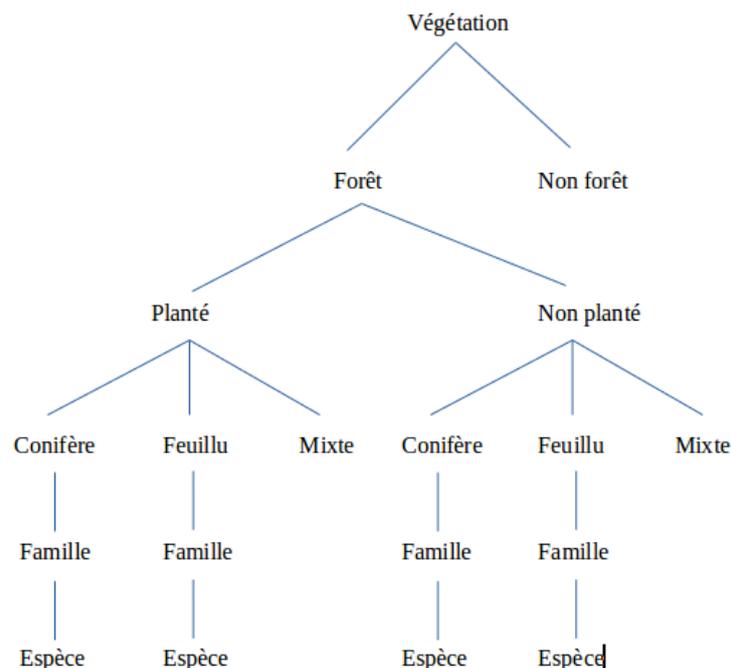
1. Objectifs

La plupart des classifications actuelles se basent sur les images IRC. Mais ces images ne sont obtenues qu'une fois tous les trois/quatre ans. Nous explorons donc les images prises plus fréquemment, notamment les images obtenues par SPOT6 et Sentinel2. Les données Sentinel2 commencent en effet à être utilisées dans le milieu de la recherche en télédétection. Le satellite Sentinel2 a une faible résolution spatiale mais une forte résolution temporelle et spectrale. En effet, il possède des bandes supplémentaires, appelées RedEdge, cependant rarement exploitées. Au contraire, les données de Spot6, ont une bonne résolution spatiale mais des résolutions temporelles et spectrales moindres.

En exploitant les trois dimensions, nous allons combiner les deux jeux de données pour créer de nouvelles pistes innovantes de classification.

L'objectif principal du projet est d'avoir une différenciation fine des essences d'arbres. Pour cela nous procédons par étapes de bidivision, en différenciant de plus en plus précisément.

- Forêt / Non forêt (végétation basse, sol nu)
- Zones naturelles / Plantées
- Feuillus / Conifères / Mixte
- Essences d'arbres (en différenciant les familles des espèces)



Pour cela, nous devons réaliser une vérité terrain, à deux échelles: à l'objet et à la parcelle. Cette vérité terrain est susceptible d'être utilisée par le CNES autour du projet Copernicus. Nous devons également appliquer une classification adaptée, et l'automatiser au possible.

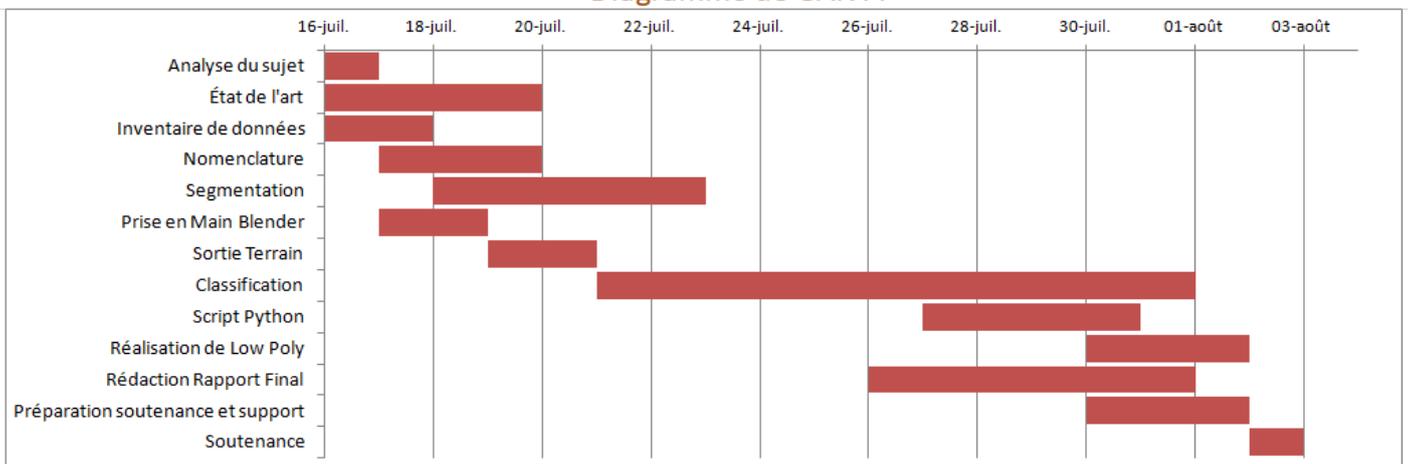
En bonus, nous devons créer des représentations 3D d'arbres en Low Poly avec le logiciel Blender.

2. Étapes

Plusieurs étapes sont à réaliser afin d'aboutir à un résultat.

- Création d'une nomenclature répondant à nos besoins
- Collecte des données, faire l'inventaire
- Elaboration d'une vérité terrain
- Choix méthode de classification (trouver des attributs discriminants, faire un état de l'art)
- Automatisation de processus répétitif à l'aide de scripts Python
- Qualification des résultats (statistiques, spatiaux)
- Mise en forme des résultats

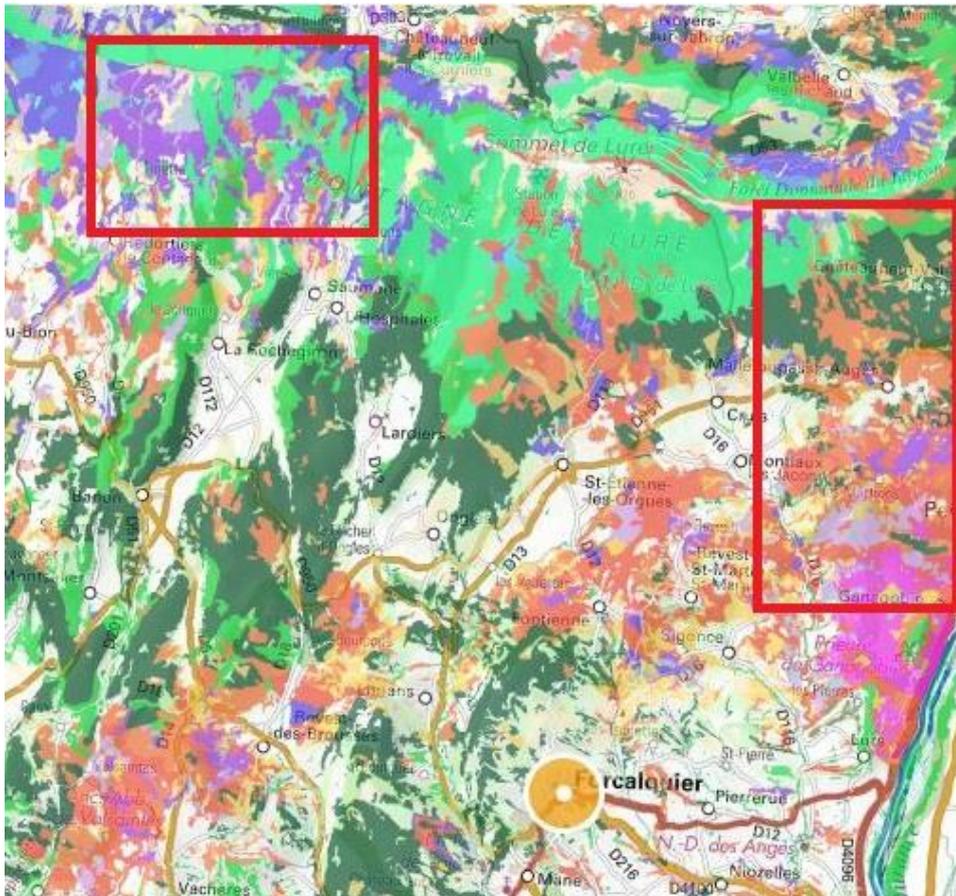
Diagramme de GANTT



3. Définition des zones de travail

Nous travaillons sur la zone de Forcalquier et ses alentours, dans le département des Alpes de Haute-Provence. Pour la réalisation de notre projet, nous nous sommes concentrés sur deux zones présentant une majorité de forêts et ayant la plus grande diversité possible d'essences d'arbres. La zone 1 possède un climat subalpin et des

forêts plantées. La végétation de la zone 2 est de type méditerranéen.



Zone	X	Y	X	Y	description
Total	910000	6350000	940000	6310000	Montagne de Lure à Forcalquier
1	910000	6343000	915000	6339000	Ouest de la Montagne de Lure
2	929000	6339000	934000	6326000	Est de Montlaux, de la Montagne de Lure à Ganagobie

4. Données brutes

Nous avons à disposition plusieurs images provenant de différents satellites. Les deux principales données sont les données Spot6 et Sentinel2.

- Orthophotos de Spot 6 : R-V-B-PIR, canaux sensibles à la végétation. Une image couvre une zone de 60x60 km. Grâce au pansharpening, la résolution est de 1,5m. Images acquises tous les ans.

- Lidar : sous forme de fichier .las. Ce sont des fichiers de nuages de points. Ils sont utiles pour générer le MNS et le MNT.
- Radar Sentinel1 bande C
- MNT sous forme de .tif en Lambert 93 de RGE_Alti
- Images IRC issues de prises de vue aérienne de l'IGN de mai à juin 2015. Leur résolution est de 50cm. PIR-R-V. IRC obtenu tous les trois/quatre ans. Issues de la BDOrtho de l'IGN.
- Scan 25 des cartes IGN en Lambert 93
- Sentinel2 : une image de Sentinel2 couvre une zone de 290x290km. Nous avons donc une seule image couvrant notre zone entière. Nous avons à disposition des acquisitions de différentes dates (29/07/2017, etc.). Pour chaque prise de vue, nous avons 13 images correspondant chacune à une bande. Les images sont prises tous les cinq jours.
 - B1 : 443nm, résolution 60m, correction atmosphérique
 - B2 : 490nm, résolution 10m, B
 - B3 : 560nm, résolution 10m, V
 - B4 : 665nm, résolution 10m, R
 - B5 : 705nm, résolution 20m
 - B6 : 740nm, résolution 20m
 - B7 : 783nm, résolution 20m
 - B8 : 842nm, résolution 10m, PIR
 - B8a : 865nm, résolution 20m
 - B9 : 940nm, résolution 60m, correction atmosphérique
 - B10 : 1375nm, résolution 60m, correction atmosphérique
 - B11 : 1610nm, résolution 20m
 - B12 : 2190nm, résolution 20m

Cf Annexe1 : Bande Sentinel2 Copernicus

II. CLASSIFICATION

Nous avons fait un état de l'art sur les différents résultats de classifications existantes. Nous nous sommes appuyés principalement sur le Corine Land Cover et OCS GE. Notre nomenclature part d'une description générale pour arriver au mieux à l'essence. Les classes s'emboîtent et il y a un lien logique entre elles. Une classe de précision supérieure s'inscrit dans un niveau inférieur de classification.

Afin de pouvoir varier la précision de nos classifications, et en partant d'une seule vérité terrain, nous avons choisi une nomenclature additive. La première classe, la plus générale, donne le premier chiffre du code de l'objet. Puis, à chaque niveau supérieur, nous ajoutons le chiffre associé. Un pin sylvestre sera donc rangé tout d'abord dans la classe « végétation », codé en 1 puis en « végétation arborée » (1.1) puis dans la classe « conifères » (1.1.2), en « pin » (1.1.2.1) et finalement dans la classe de « pin sylvestre ». Son code final est alors 1.1.2.1.1.

Pour répondre à la demande de différenciation des arbres plantés et non plantés, nous avons fait une nomenclature à la parcelle. Nous avons donc deux nomenclatures différentes, une à l'objet et une parcellaire. La nomenclature parcellaire différencie la végétation naturelle et les plantations, puis les feuillus, conifères et mélanges des deux.

Cette nomenclature nous permet de varier le niveau de précision en fonction du besoin.

Par la suite, lors de la saisie sous Qgis, nous constatons que nous ne pouvons pas entrer de points (ex 1.1), lorsque nous sommes en format numérique. Ceci n'a pas posé problème sur nos zones, mais pourrait devenir problématique lorsque nous atteignons des chiffres supérieurs à la dizaine car les 12 seraient confondus avec les 1.2. Une autre possibilité plus simple serait de changer le type de la colonne.

Nous n'avons pas pris en compte le taux de recouvrement, mais cela serait intéressant. OCSGE utilise la répartition en 4 taux : recouvrement mineur, important, prépondérant et pur.

Végétation	P1	naturelle	P1.1	Feillus	P1.1.1	pur	P1.1.1.1	
						mixte	P1.1.1.2	
				Conifères	P1.1.2	pur	P1.1.2.1	
						mixte	P1.1.2.2	
				Mélangés	P1.1.3			
			Ripisylve	P1.1.4				
			Garrigues	P1.1.5				
	P1	plantation	rangée	P1.2.1	Feillus	P1.2.1.1	pur	
							mixte	
					Conifères	P1.2.1.2	pur	
							mixte	
					Mélangés	P1.2.1.3		
				Verger	P1.2.1.4			
				Vigne	P1.2.1.5			
		non rangée	P1.2.2	Feillus	P1.2.2.1	pur		
					mixte			
Conifères				P1.2.2.2	pur			
		Mélangés	P1.2.2.3	mixte				
		Reprise forestière	P1.3					
		prairie	P1.4					
non-végétation	P2	surface d'eau	P2.1	cours d'eau	P2.1.1			
				retenue d'eau	P2.1.2			
	artificialisation	P2.2	chemin	P2.2.1				
			route	P2.2.2				
			bâti	P2.2.3				
			sol nu	P2.3				

Nomenclature parcellaire

Cf Annexe2 : Nomenclature objet

III. VERITE TERRAIN

1. Fond de carte

Avant de partir sur le terrain, il est nécessaire d'établir un fond de carte. Les deux fonds de cartes réalisés s'appuient sur les deux classifications créées (objet et parcellaire).

Nous imprimons alors ces cartes, composées de la segmentation et d'une ortho-photo au fond transparent, nous permettant de noter la réalité observée lors de la sortie terrain.

Nous avons constaté qu'il est parfois difficile de se repérer sur cette carte. Il serait donc envisageable d'ajouter les courbes de niveau.

Cf Annexe 3 : Fond de carte zone 1

2. Reconnaissance terrain

Afin d'établir une vérité terrain, il faut recenser les essences d'arbres identifiées sur le terrain et les marquer sur le fond de carte. Nous avons également mesuré le diamètre moyen des arbres, leur taille, leur écartement les uns par rapport aux autres, le

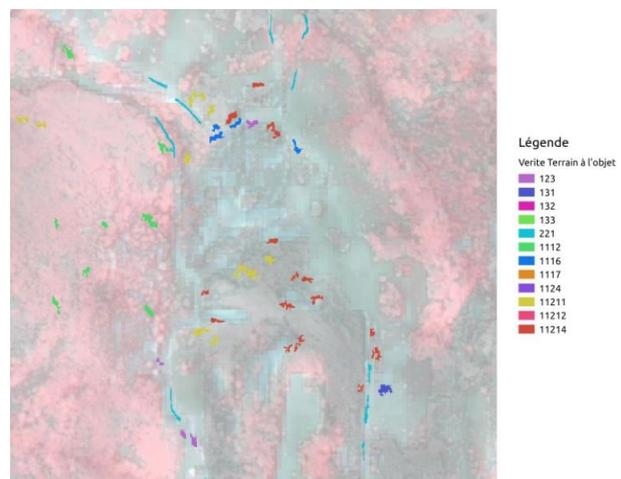
niveau d'ouverture (soit à l'œil nu (0-20% ciel visible, 80-100% ciel non visible ou très peu), soit mettre l'appareil photo Fish-eye au sol et prendre une photo du houppier).



Cf Annexe 4 : Photos terrain

3. Numérisation de la vérité terrain

Une fois la reconnaissance terrain établie, il faut numériser nos résultats. Pour cela, sous QGis, nous ajoutons une colonne Classe au fichier shapefile (.shp) obtenu lors de l'étape de segmentation. Nous entrons les objets observés et notés lors de la sortie terrain dans la table d'attributs de la couche. Nous utilisons les codes définis dans notre nomenclature.



Vérité terrain à l'objet

IV. PRE-TRAITEMENTS

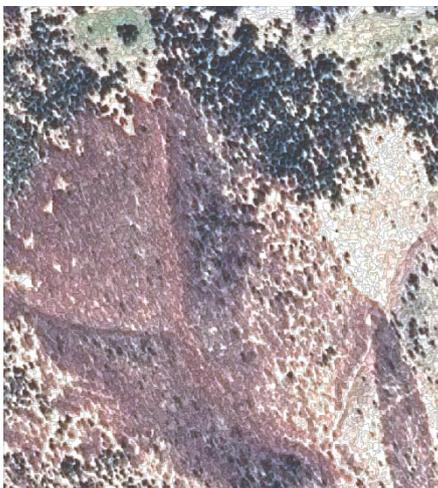
Nous avons à disposition deux satellites (Spot6, Sentinel2) aux résolutions différentes.

1. Segmentation

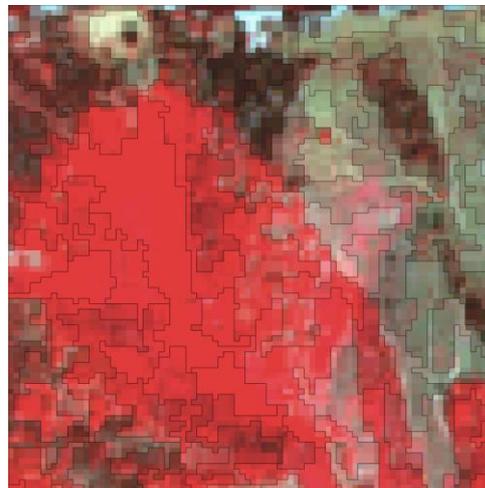
Pour découper l'image et travailler sur les différentes données des images, nous avons réalisé des segmentations. Nous avons fait une segmentation, nommée par la suite « objet », sur l'image de Spot6, ainsi qu'une segmentation à la « parcelle » avec les images Sentinel2.

L'étape de segmentation se décompose en 4 étapes.

La première consiste à homogénéiser l'image en lissant les petites variations. Après cette étape de Smoothing suivent l'étape de segmentation et de Merging. Nous segmentons les pixels, puis les groupes de pixels. Cela crée des segments à partir de la radiométrie de l'image en entrée. Attention à ne pas sur- ou sous-segmenter. Ces trois commandes de l'algorithme Mean-Shift créent des images .tif en sortie. La troisième étape crée un tif, nommé Step3. Cette image est nécessaire pour la vectorisation de toutes nos données. L'étape 4, qui sera répétée par la suite, consiste à extraire les informations d'une image et à les ajouter à notre segmentation. C'est la vectorisation. L'algorithme retourne un fichier vectoriel sous forme de fichiers shapefile .shp. Ce fichier contient les segments trouvés auparavant et les attributs présents dans l'image tif. Lorsque nous prenons en entrée une image orthorectifiée non modifiée, cela calcule les attributs de différents capteurs, qui constituent l'image. Toutes ces étapes ont été réalisées via l'interpréteur de commandes Otbgui et QGis.



Segmentation objet



Segmentation parcellaire

2. Attributs

Il existe une multitude d'attributs qui permettent de classifier les segments.

a. Capteurs

Les principaux attributs sont liés directement aux images de base. Pour chaque capteur nous avons une bande. En vectorisant l'image de base orthorectifiée nous obtenons alors les moyennes et variances des valeurs radiométriques des segments.

Par exemple, pour l'image Spot6, nous avons les moyennes et variances correspondant aux bandes R-V-B-PIR pour chaque segment.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	label	nbPixels	Spot6_meanB0	Spot6_meanB1	Spot6_meanB2	Spot6_meanB3	Spot6_varB0	Spot6_varB1
2	1	61	150.770492553710938	189.573776245117188	245.032791137695312	278.147552490234375	291.579162597656250	405.950012207031250
3	33	74	188.472976684570312	224.243240356445312	282.121612548828125	350.256744384765625	95.263702392578125	139.832199096679688
4	46	54	172.111114501953125	210.000000000000000	261.537048339843750	312.203704833984375	55.044811248779297	80.037734985351562
5	137	137	206.832122802734375	248.306564331054688	305.357666015625000	362.379547119140625	552.551452636718750	927.095581054687500
6	215	50	191.860000610351562	226.240005493164062	278.299987792968750	304.040008544921875	65.673469543457031	114.714286804199219
7	235	149	249.107376098632812	262.563751220703125	305.724822998046875	428.892608642578125	272.202697753906250	344.837829589843750
8	263	133	201.812026977539062	237.308273315429688	293.789459228515625	345.586456298828125	82.090911865234375	102.242424011230469
9	275	66	166.727279663085938	203.666671752929688	256.272735595703125	273.424255371093750	67.525001525878906	106.534614562988281

b. Modèle numérique d'élévation

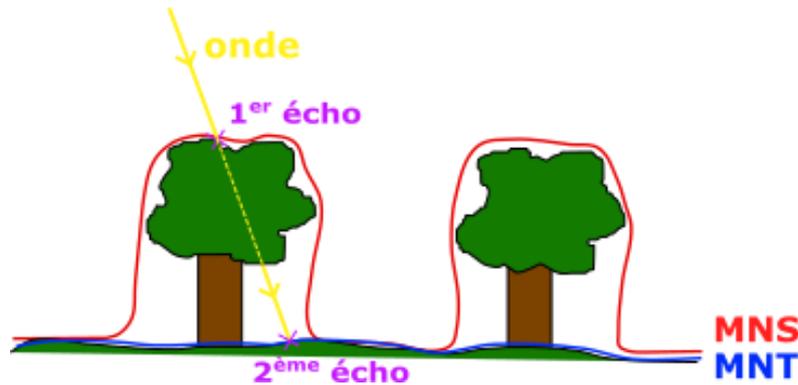
Les MNT (Modèle Numérique de Terrain) de la région nous sont fournis. Il faut alors créer les MNS (Modèle Numérique de Surface) relatifs à nos deux zones. Ils sont établis à partir du premier écho de l'onde LIDAR envoyée par un avion. En effet l'avion reçoit une multitude d'échos. Un premier signal est renvoyé lorsque l'onde rencontre la surface de végétation et un dernier signal est renvoyé lorsque l'onde rencontre le sol. On utilisera donc le premier écho du LIDAR qui correspond à la cime des arbres.

Avec LASTools nous convertissons les fichiers .las en .txt. Puis, avec le logiciel CloudCompare, nous générons les rasters pour ensuite créer le MNS sous QGIS.

Nous avons découpé sous QGIS le MNS ainsi généré pour le faire correspondre à nos zones d'étude et nous avons de même fusionné les bandes de MNT fournies de façon à recouvrir nos zones.

Le MNE (Modèle Numérique d'Elévation) est la différence entre le MNT et le MNS. Il s'agit d'un attribut intéressant pour différencier les différentes strates : végétation haute et basse.

$$\text{MNE} = \text{MNT} - \text{MNS}$$



Cf Annexe 5 : MNE

c. Indices de végétation

Plusieurs indices de végétation sont utilisés pour différencier les essences d'arbres : le NDVI, le RVI et le SAVI.

Le NDVI permet de mettre en évidence le couvert végétal. Sa valeur est comprise entre -1 et 1. Il est négatif pour les surfaces autres que le couvert végétal, nul pour le sol nu et positif pour la couverture végétale. Plus celle-ci est dense, plus la valeur du NDVI est proche de 1.

Le RVI permet également de distinguer les différentes surfaces.

Le SAVI est un indice de végétation avec compensation des effets de sol. Il renseigne sur la densité de la végétation.

d. Indices de texture

Des attributs de texture sont également utilisés : le Haralick et le SFS. Ces attributs sont utiles pour différencier la végétation plantée de la non plantée car ils caractérisent la répétition de motifs dans une texture.

3. Changement de résolution

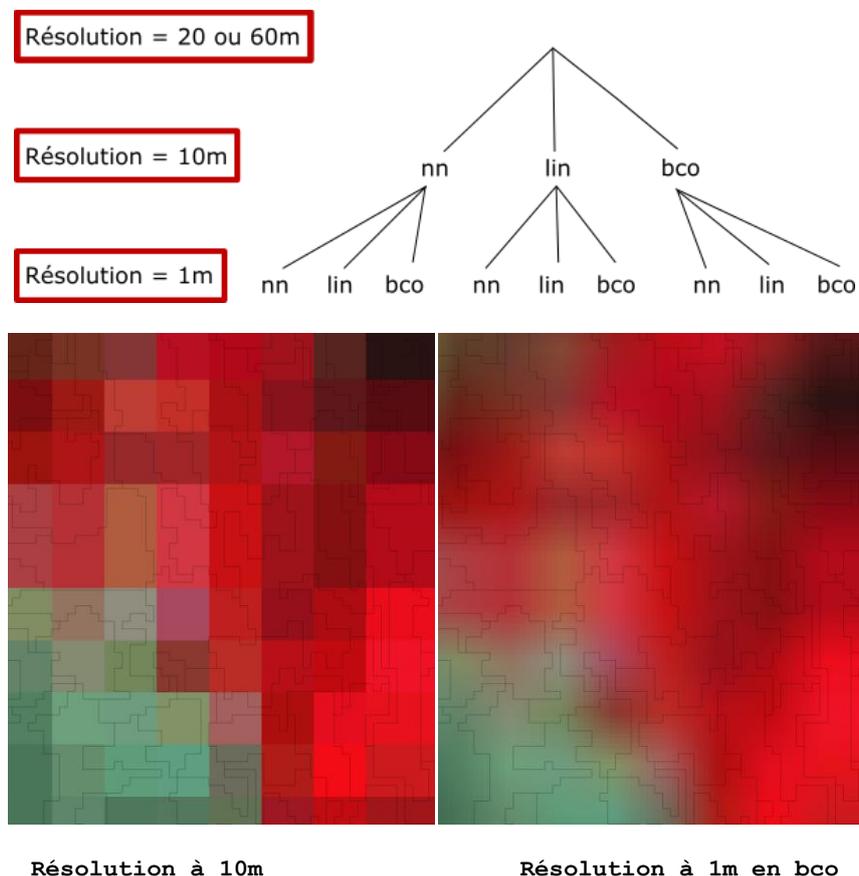
Lorsque nous appliquons la segmentation réalisée à partir de l'image Spot6 à une image de Sentinel2, cela pose problème.

Notre segmentation objets, réalisée à partir de l'image Spot6 ne peut pas vectoriser les images Sentinel2. En effet, la résolution de Sentinel2 est trop grande. Nous avons des résolutions de 10, 20 et

60m alors que la résolution des images Spot6 est de 1,5m. Les pixels des images Sentinel2 sont trop grands pour la segmentation objet, ce qui explique que nous ne lui avons appliqué que la segmentation parcellaire dans un premier temps.

Nous avons alors utilisé la commande QGis RigidTransformResample pour redimensionner la résolution. Nous avons testé les trois algorithmes : un correspondant aux plus proches voisins (nn), un deuxième bicubique (bco) et un troisième linéaire.

Tout d'abord, nous ramenons toutes les bandes de Sentinel2 à une résolution de 10m. Une fois la résolution identique, nous pouvons concaténer les différentes bandes dans une seule image. Puis, nous ramenons l'image à une résolution de 1m. Il y a donc 9 assemblages possibles pour améliorer la résolution.



Ces étapes étant assez longues et très répétitives, nous avons réalisé un script Python pour automatiser l'étape d'assemblage des bandes et d'amélioration de résolution. Ceci permet de réaliser ces étapes de façon rapide pour de nombreuses images.



Cf Annexe 6 : Extrait du script Python

Cette automatisation permet d'ajouter une dimension temporelle à nos classifications en économisant beaucoup de temps. Nous avons en effet besoin de la dimension temporelle pour mettre nos résultats en perspective sur plusieurs images. De plus, cela permettra de voir l'impact de paramètres évoluant au cours des saisons (météo, densité du feuillage, perte des feuilles, etc.).

Pour chaque date, des fichiers FRE et SRE sont renseignés. Nous avons travaillé avec les images FRE, qui correspondent aux images après correction. En connaissant le MNT de la zone, la position du satellite et du soleil, les images SRE ont été corrigées.

4. Généralisation de la vérité terrain

Nous comparons le résultat des différents indices sur SPOT6 et sur Sentinel2. Nous créons la table d'attributs de chaque zone à l'aide des .csv. Nous obtenons des fichiers .tif. Avec la commande Radiometric Indices de QGIS, nous appliquons le NDVI, le RVI, le SAVI aux ortho-images des zones 1 et 2 en faisant attention aux numéros des bandes :

SPOT6 : 1:R, 2:V, 3:B, 4:PIR

Sentinel2 et IRC : 1:PIR, 2:R, 3:V, 4:B

Nous vectorisons les fichiers .tif en fichiers shapefile .shp et nous rassemblons les attributs (indices + MNE + capteurs) dans une table attributaire.

Trois catégories doivent être distinguables :

- la forêt et la non forêt
- les feuillus et les conifères
- la végétation plantée et la naturelle

Pour réaliser ces objectifs, nous nous sommes aidés du fichier Excel de classification établie auparavant. Nous réduisons alors la valeur des champs en regroupant tous les attributs correspondant à de la

forêt (ou feuillus ou plantée) et tous ceux correspondant à de la non forêt (ou conifères ou naturelle).

Nous utilisons ensuite une commande générant un fichier texte Evaluation.txt, renseignant l'Overall Accuracy (OA, reflétant la qualité de la classification) pour chaque classification, ainsi que l'importance des différents attributs dans le calcul de l'OA.

Par exemple, après traitement de différenciation du planté et du naturel, l'OA est de 40-50%, ce qui n'est pas très bon. Une valeur correcte de l'OA est de minimum 80% environ.

Pour améliorer cet OA, nous partons de la classification entre la forêt et la non forêt. En effet, la forêt plantée ou naturelle ne concerne pas la non forêt. Pour cela, il faut créer un predict de la forêt/non forêt, et l'importer sous QGIS. Ensuite, nous relient les deux fichiers à l'aide d'une jointure attributaire. Il faut ensuite modifier le style en catégorisant les éléments. Les éléments forêt sont alors distinguables de ceux relatifs à la non forêt. Nous créons alors un sous-groupe en enregistrant uniquement les éléments de forêt. L'étape de différenciation est de nouveau réalisée sur ce sous-groupe. Cela a pour but de réduire les erreurs de classification. Au final, nous obtenons un taux d'OA de 77%.

V. TESTS SUR LES ATTRIBUTS

Pour avoir une classification de fort OA, il est utile de jouer sur les différents attributs. Pour cela, nous regardons dans les Evaluation.txt les attributs qui n'ont pas beaucoup de poids dans le calcul de classification. Nous supprimons un par un les attributs de la table de vérité terrain en régénérant à chaque fois l'Evaluation.txt. Il est important de supprimer les colonnes une par une dans la table et de relancer à chaque fois la commande car l'ordre des colonnes est changé après chaque nouveau calcul.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	label	Classe	nbPixels	Haralick_SPOT6_varB0	NDVI_IRC_meanB0	RV1_S2_meanB0	SAVI_S2_meanB0	MNE_meanB0	SFS_varB5
2	89880	13	120	0.024055352434516	0.589262247085571	0.992673099040985	-0.088102973997593	-0.819416284561157	0.002103533130139
3	96151	13	61	0.015611401759088	0.549749493598938	0.956484317779541	-0.061263635754585	0.736452221870422	0.000468317681225
4	123717	13	51	0.003667600220069	0.610862374305725	1.117542505264282	0.038902096450329	1.837488532066345	0.574166238307953
5	120602	13	122	0.000000000000000	0.521254003047943	1.411828279495239	0.166755616664886	1.603607654571533	0.000210974831134
6	122946	13	112	0.000000000000000	0.584985077381134	0.901249587535858	-0.214663058519363	-0.256808698177338	0.001619218732230
7	127710	13	84	0.000000000000000	0.566426992416382	1.955484986305237	0.352207839488983	0.136952713131905	0.000815977517050
8	42036	14	307	0.012597613967955	0.493171215057373	0.753572881221771	-0.277467429637909	0.932203650474548	0.000611348892562
9	51062	14	225	0.051171164959669	0.562565922737122	0.869866490364075	-0.148906961083412	0.717515707015991	0.021953310817480
10	54588	14	104	0.038976464420557	0.540701448917389	0.787063300609589	-0.208395555615425	-0.241409301757812	0.001435363199562
11	55786	14	67	0.014931563287973	0.581881430339813	0.626408517360687	-0.347994565963745	0.793954432010651	0.000182643081644

Cf Annexe 7 : Tableau récapitulatif OA

1. Étude des attributs discriminants Spot6

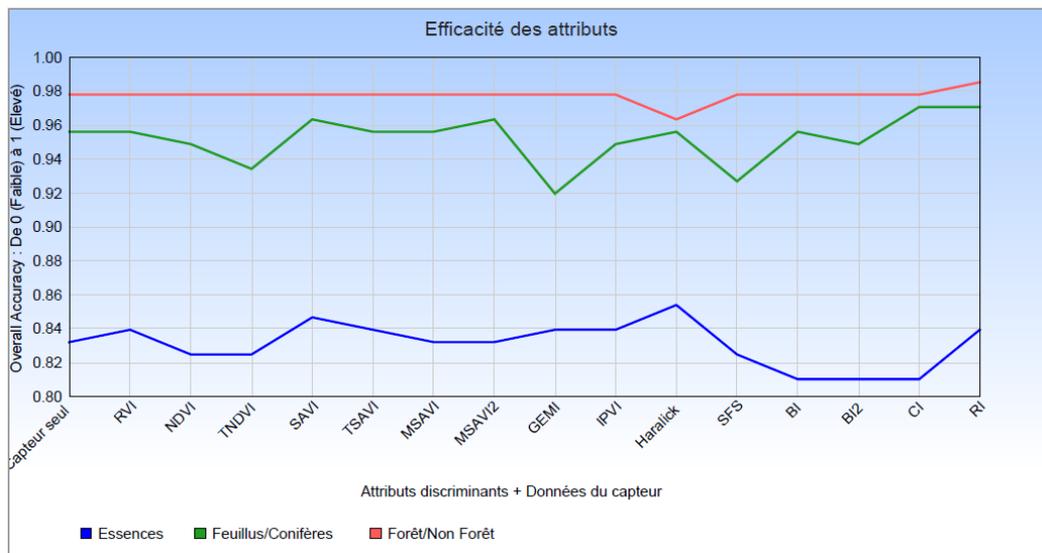
L'analyse des attributs a pour but de déterminer quels sont les attributs les plus efficaces pour chaque niveau de différenciation. Ici, nous évaluons la qualité des attributs pour la segmentation objet avec des images Spot6.

Pour effectuer cette analyse, nous rajoutons aux attributs des capteurs, un attribut de texture ou un indice radiométrique. Nous répétons ces deux étapes pour tous les indices disponibles sur QGIS, ainsi que les deux attributs de texture Haralick et SFS. Pour chaque table, nous créons la vérité terrain en ne sélectionnant que les éléments classés. Ensuite, nous évaluons la qualité de la classification. Nous faisons aussi cette même évaluation pour le Spot6 seul.

Ces évaluations sont ensuite regroupées dans un tableau, où les qualités de classification sont comparées à celles de Spot6 seul, qui fait office de référence. Les attributs permettant d'apporter un apport important à la qualité sont notés ++, et ceux qui apportent un bénéfice faible sont notés +. De même pour les - et --. Les attributs, notés 0 et 0+, n'apportent rien, ou peu de modification. Au vu de l'échantillon de données dont nous disposons, il faut relativiser quant aux augmentations de la qualité. C'est pourquoi seuls les attributs ayant obtenu ++ seront considérés comme efficaces.

A noter que le Spot6 seul fait déjà bien les différenciations sans ajout d'attributs (plus de 80 % pour les essences, plus de 90 % pour les niveaux plus bas de classification). Les attributs les plus efficaces permettent de gagner 1 ou 2 % de qualité en plus. Ce n'est pas exceptionnel mais loin d'être négligeable.

Le SAVI et surtout le RI (qui est pourtant un indice servant essentiellement à classer les sols, et donc en théorie peu adapté à la végétation) sont les plus efficaces. Ils sont globalement bénéfiques à tous les niveaux. Le CI (indice de sol) est efficace pour différencier les feuillus des conifères, mais moins pour les essences. L'attribut de texture Haralick est efficace pour différencier les essences, mais n'est pas recommandé pour faire la distinction entre forêt et non forêt. Les autres attributs ne se sont pas révélés être très utiles. Certains, comme le SFS, les indices de brillance, le NDVI et le TNDVI font même l'effet inverse de celui escompté.



	Forêt/Non Forêt	Feuillus/Conifères	Essences	Appréciation Globale
BI2	O	-	--	--
SFS	O	--	-	--
TNDVI	O	--	-	--
NDVI	O	-	-	-
BI	O	O	--	-
Capteur seul	O	O	O	O
MSAVI	O	O	O	O
GEMI	O	--	+	O
IPVI	O	-	+	O
MSAVI2	O	+	O	O+
RVI	O	O	+	O+
TSAVI	O	O	+	O+
CI	O	++	--	+
Haralick	--	O	++	+
SAVI	O	+	++	++
RI	+	++	+	++

2. Étude des attributs discriminants Sentinel2

La précision générale de la classification parcellaire est de l'ordre de 75%, sachant que l'OA augmente avec une classification moins fine (avec moins d'attributs), jusqu'à atteindre 100% dans le cas de la classification forêt/non forêt (sachant que cela peut être expliqué par le fait que le nombre d'échantillons dans la classe prairie est peu élevé).

Les indices de végétation et le MNE sont globalement assez importants et d'assez bon OA.

Les indices de texture (SFS et Haralick) sont d'OA plus faibles (de l'ordre de 60%) en raison de la faible résolution de Sentinel2.

Les attributs possédant le poids le plus important sont les attributs des capteurs.

	Forêt/Non-forêt	Feuillus/Conifères	Planté/Non-planté	Essences	Appréciation globale
SFS	+	0	0	-	0
Haralick	+	0	0	-	0
NDVI	+	-	+	-	0
GEMI	+	+	+	+	+
MNE	+	+	+	+	+
RVI	+	+	+	+	+
SAVI	+	+	+	+	+

3. Étude de la dimension temporelle

Nous avons réalisé une classification à l'essence grâce aux attributs de Sentinel2.

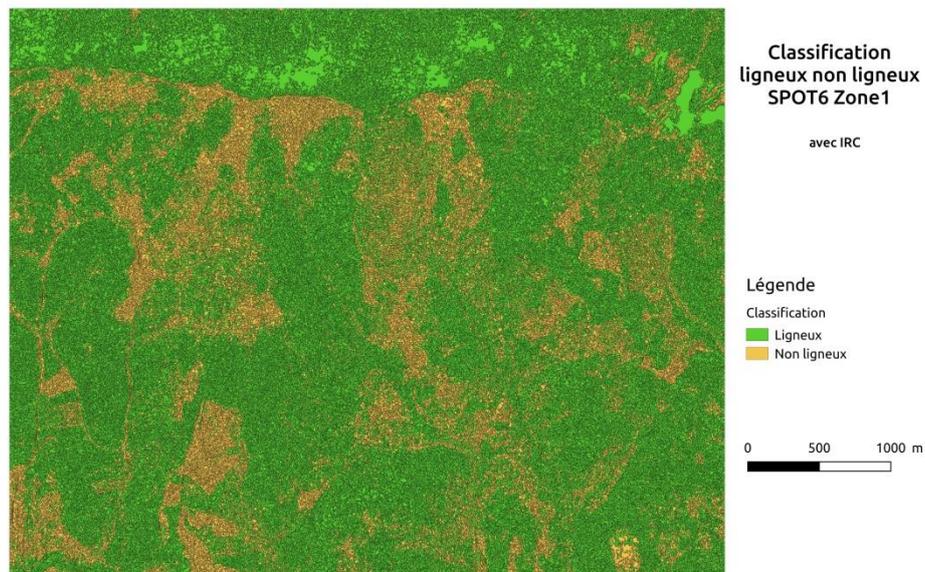
31/12/16	20/04/17	19/06/17	29/07/17	17/10/17	Différence dates	Spot6	NDVI_2907	SFS_2907	OA
x	x	x	x	x					29.7
x	x	x	x	x	x				29.1
x	x	x	x	x			x	x	31.6
			x				x	x	28.4
	x		x				x	x	26
x	x	x	x	x		x	x	x	85.4
			x			x	x	x	84.2

Nous avons pris cinq dates correspondant à des saisons différentes. Nous constatons que les attributs de Spot6 sont essentiels pour obtenir une bonne classification à l'essence (26% sans Spot6 << 85% avec). En effet, en présence de ces attributs, ceux de Sentinel2 n'apportent rien à la classification à l'essence (même OA de 85%).

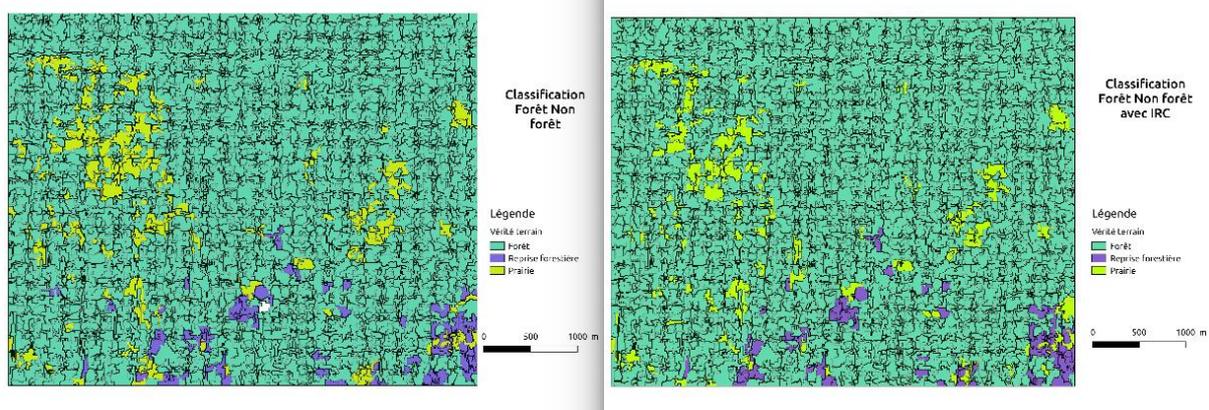
VI. RESULTATS

1. Forêt/Non forêt

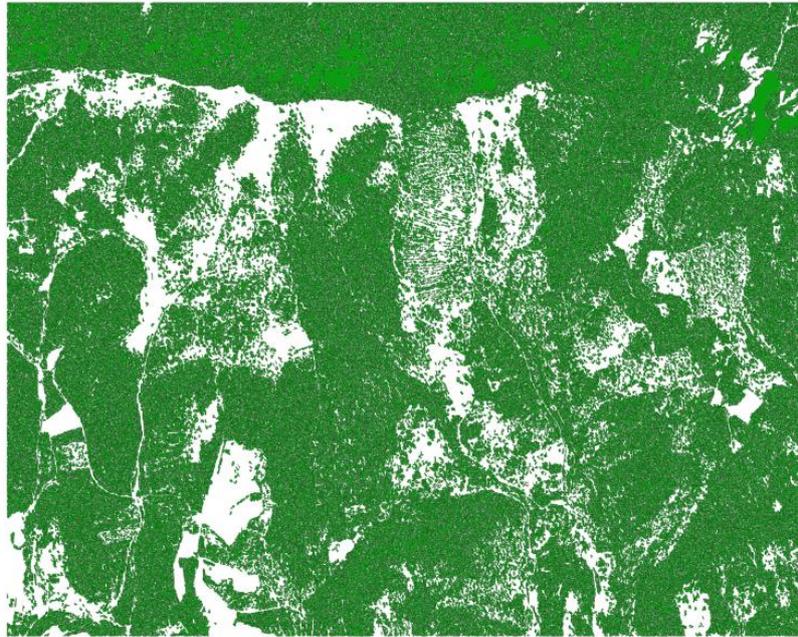
Nous avons réalisé une classification objet de forêt/non forêt avec des attributs permettant d'obtenir un OA de 97%.



La classification suivante est réalisée sur la zone 1 en parcellaire. Elle est composée de trois classes : forêt, prairie et reprise forestière. L'OA est de 68% sans IRC et de 73% avec IRC.



Pour établir le masque de ligneux/non ligneux qui suit, nous avons considéré comme attributs le NDVI, le SAVI, le RVI des trois capteurs, Haralick, le MNE et le SFS. Nous avons regroupé les formations arborées et arbustives pour constituer la végétation ligneuse, et la formation herbacée avec le sol nu pour la végétation non ligneuse. Cette classification s'appuie sur celle de l'OCS GE de l'IGN.

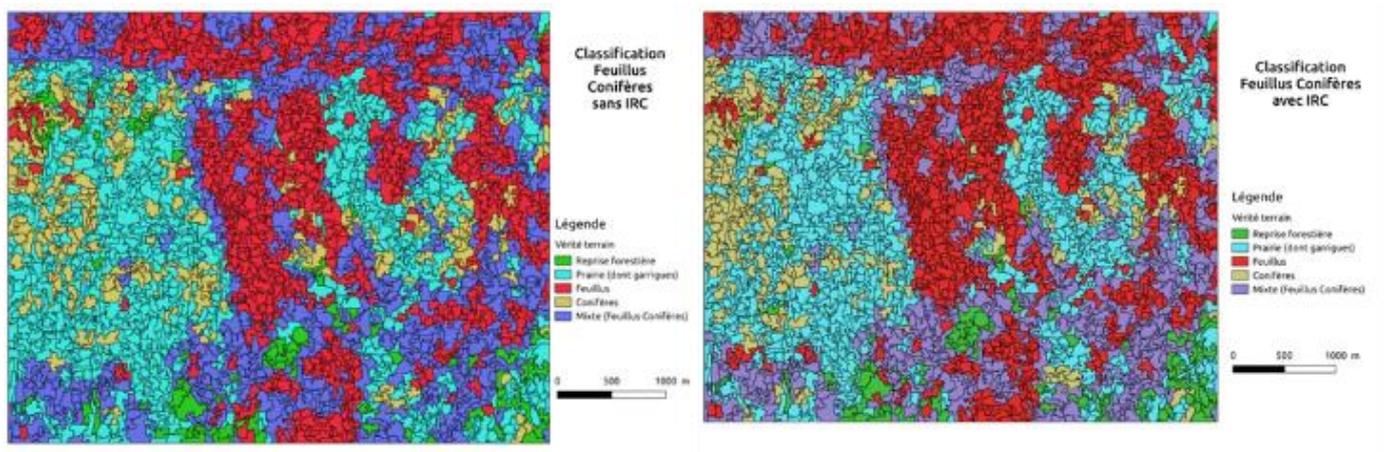


Cf Annexe 8 : Classification parcellaire forêt/non forêt sur la zone 2

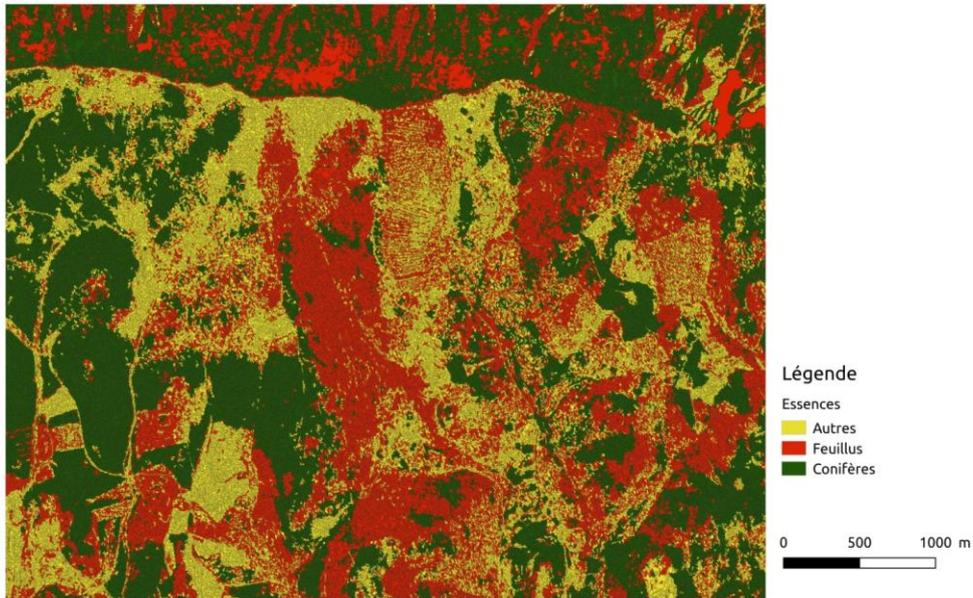
2. Feuillus/Conifères/Autre ou Mixte

Pour la segmentation parcellaire la classe « Feuillus » rassemble tous les feuillus purs et les mélanges de feuillus. De même pour la classe « Conifères ». La classe « Autre » de la classification objet est composée de tout ce qui n'est ni feuillus, ni conifères, c'est-à-dire la prairie, la garrigue les chemins et la reprise forestière. Dans la classification parcellaire, la classe « Mixte » regroupe les parcelles de mélanges.

Les attributs utilisés sont le NDVI, le SAVI, le RVI des trois capteurs, Haralick, le MNE et le SFS.

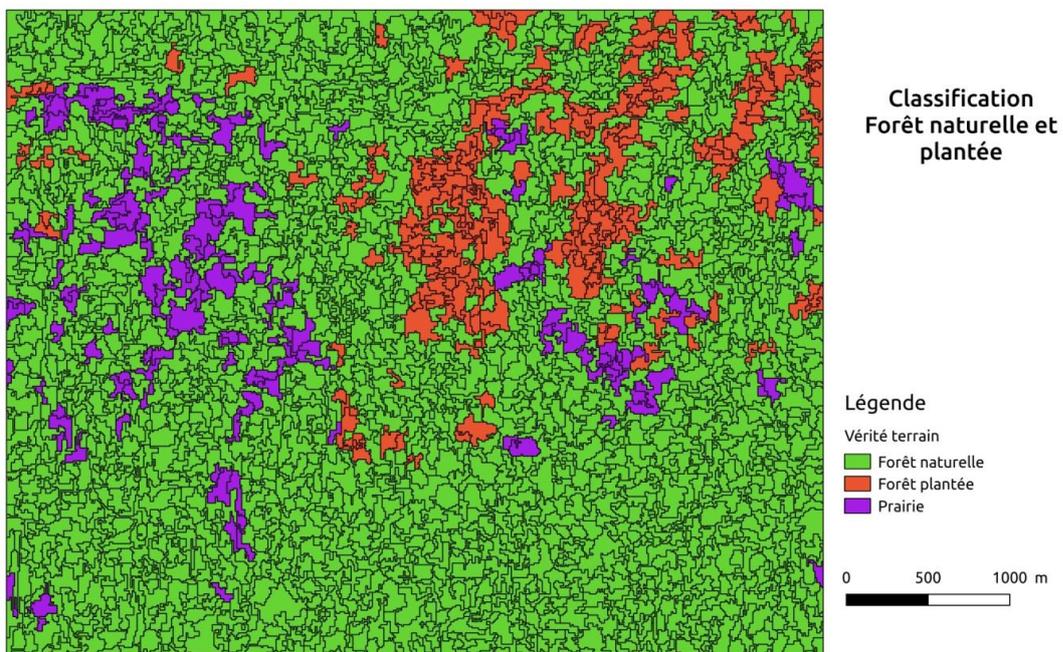


Zone1 : Segmentation objet (SPOT6) Feuillus, Conifères, Autres



cf Annexe 9 : Classification parcellaire zone 2 Feuillus/Conifère

3. Forêt plantée/Forêt naturelle



Les attributs utilisés sont le NDVI, le SAVI, le RVI des trois capteurs, Haralick, le MNE et le SFS.

La différenciation entre la forêt plantée et la forêt naturelle se fait uniquement en segmentation parcellaire regroupant plusieurs objets, et non à l'objet uniquement car il n'y a pas de distinction.

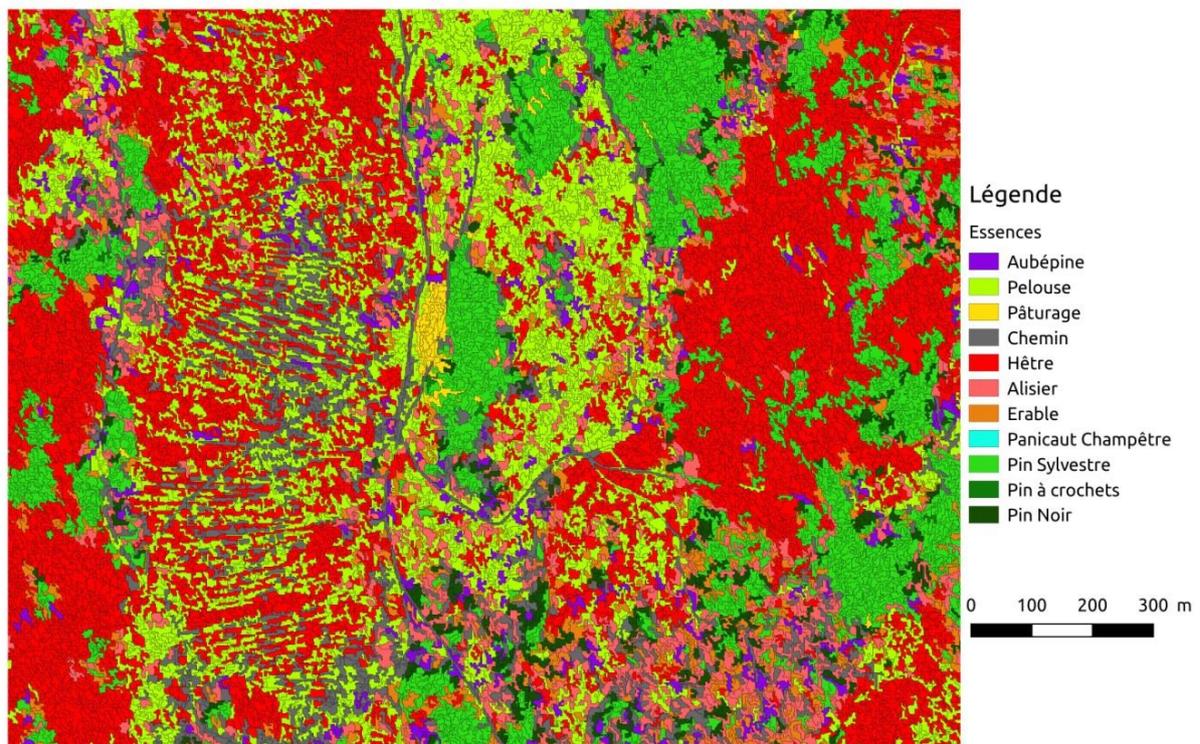
Cf Annexe 10 : Classification parcellaire zone 2 Naturelle/Plantée

4. Essences

Nous obtenons un Overall Accuracy de 84%. Les arbres sont globalement bien classés. Mais nous observons une confusion importante entre les chemins et la pelouse. En effet, au niveau de la plantation par exemple, des chemins apparaissent entre les rangées d'arbres alors qu'il s'agit de pelouse.

Les attributs pris en compte sont le NDVI, le SAVI, le RVI des trois capteurs, Haralick, le MNE et le SFS.

Classification des essences SPOT6 Zone1



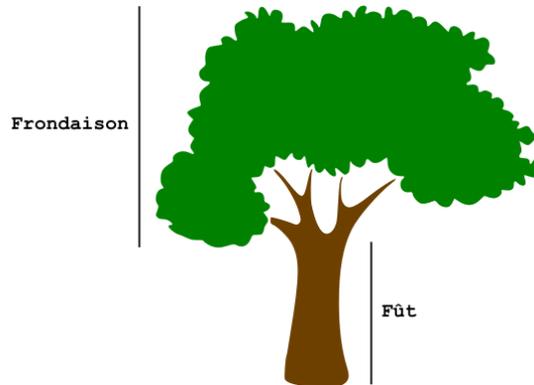
Cf Annexe 11 : Zooms de la segmentation objet, classification Essences

VII. BONUS

L'objectif bonus est d'utiliser ces résultats de classification et de représenter l'environnement en 3D. Il s'agit de faire une étude de faisabilité sur le logiciel Blender permettant de modéliser des objets en 3D. La prise en main du logiciel à partir de tutoriels ainsi que l'apprentissage nécessitent environ 3 à 4 heures pour des personnes déjà à l'aise avec les logiciels de graphisme, car le logiciel est globalement facile à prendre en main malgré son interface complexe.

Le Low Poly doit s'appuyer sur des paramètres réalistes reconnaissables tel que la silhouette de l'arbre, la couleur des feuilles, ou le rapport $\frac{\text{frondaison}}{\text{fût}}$. Ce rapport est calculé à partir des mesures réalisées sur le terrain.

Le résultat doit faire office de pictogrammes aisément reconnaissables.



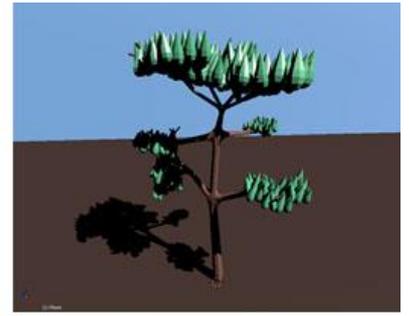
Nous avons réalisé quelques essences d'arbres (chêne pubescent, cèdre de l'Himalaya, cèdre de l'Atlas et chêne vert). Pour créer ces arbres, il faut trouver le centre de leur houppier et placer un modèle. La classification pourrait dans l'idéal s'effectuer dans toute la France avec une modélisation de forêts entières en Low poly, le fichier devait donc être léger. Un des objectifs est de créer une carte de type jeux vidéo en partant d'une classification en remplaçant les objets par les modèles 3D.



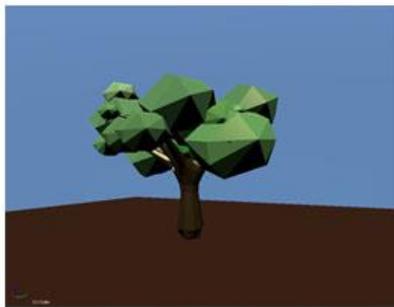
Cèdre de l'Atlas



Cèdre de l'Himalaya



Pin d'Alep



Chêne pubescent



Chêne vert

VIII. CONCLUSIONS

1. Bilans

Ce stage a été enrichissant. Nous avons appris à gérer notre temps et faire des choix pour arriver finalement à une classification des zones sélectionnées selon les discriminations forêt/non forêt, plantée/naturelle (dans le cas de Sentinel2), conifères/feuillus et essences. Nous avons également commencé à étudier l'influence de la dimension temporelle en même temps que l'importance des différents attributs pour chaque classification. Nous avons, en plus, pu étudier les images fournies par Sentinel2 et Spot6, avec lesquelles nous avons pu rajouter une autre dimension qui est celle de l'objet-parcelle. Plus particulièrement, nous avons traité des données Sentinel2 qui étaient au départ inexploitable en classification objet à cause de leur faible résolution spatiale. Nous avons alors créé un script python pour traiter ces données afin de les rendre exploitables.

La première journée terrain a été laborieuse car la zone choisie était trop grande pour la parcourir à pied. De plus, travaillant sur des ordinateurs différents, il était parfois difficile de retrouver et s'échanger les données. Nous avons donc dû apprendre à nous coordonner avec des matériels à notre disposition : sur le terrain,

avec des talkiewalkies et GPS, et sur les ordinateurs, avec des clés USB, un disque dur et des emails.

Nous avons appréhendé les problématiques relatives au BigData car nous avons une multitude de données en entrée et de nombreuses possibilités de traitements et de classifications.

Nous avons commencé par travailler tous ensemble, puis nous nous sommes séparés les tâches à partir de la deuxième semaine, ce qui a augmenté notre efficacité. De plus, nous nous sommes rassemblés environ une fois tous les deux ou trois jours pour faire un point sur ce que nous avons fait les jours précédents et ce que nous comptions faire ensuite, ce qui nous a permis de nous organiser en fonction des travaux des autres personnes dans le groupe.

2. Perspectives

Une méthode supplémentaire que nous aurions pu explorer est l'étude des attributs fournis par des images LIDAR. En effet, des fichiers .las nous ont été fournis (afin de générer le MNS). Nous avons utilisé ces fichiers pour générer des images LIDAR à l'aide du logiciel OPAL et nous avons traité et segmenté ces images sous Otbgui afin d'obtenir leurs attributs et de les utiliser pour notre classification. Malheureusement, la classification obtenue ne semblait pas pertinente dans le cadre de l'étude des forêts et nous n'avons pas pu approfondir plus en détails cette problématique.

Une autre piste que nous aurions pu exploiter est celle de la classification pixellaire. Les résultats obtenus n'étaient pas ceux escomptés (absence d'image après traitement final) et nous n'avons pas pu résoudre ce problème car le traitement de chaque image prenait plusieurs heures.

Une autre piste qui reste à explorer est de suivre des algorithmes de classification différents. Nous nous sommes basés uniquement sur l'algorithme de Random Forest, qui est en partie aléatoire. Il serait intéressant de comparer les résultats de classification d'algorithmes différents.

IX. BIBLIOGRAPHIE

C. Mallet et al. ; Utilisation de QGIS en télédétection vol.2 « QGIS et applications en agriculture et forêt » (15/01/2018) ; Editions Iste, collection Système Terre-Environnement

N. Karasiak et al. ; Mapping Tree Species of Forests in Southwest France using Sentinel-2 Image Time Series (2018) ;

Clément Dechesne et al ; Segmentation sémantique de peuplements forestiers par analyse conjointe d'imagerie multispectrale très haute résolution et de données 3D Lidar aéroportées (04/12/2017); Thèse de doctorat en Sciences et Technologies de l'Information Géographique

M. Poupée et al. ; Cours de capteurs et acquisitions, cours de télédétection, Caractérisation forêt (Version allégée), Présentation SolVeg (2017-2018)

UVED (ENVCAL) ; Cours suivi de l'environnement par télédétection ; Université Paris 1

R. Thomas, D. Busti, M. Maillart, Petite flore de France, ed Belin

<https://www.youtube.com/channel/UCOKHwx1VCdgnxwbjyb9IuIlg>

<https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>

<http://professionnels.ign.fr/ocsgc>

X. ANNEXES

Annexe 1 : Bande Sentinel2 Copernicus

10 metre spatial resolution:

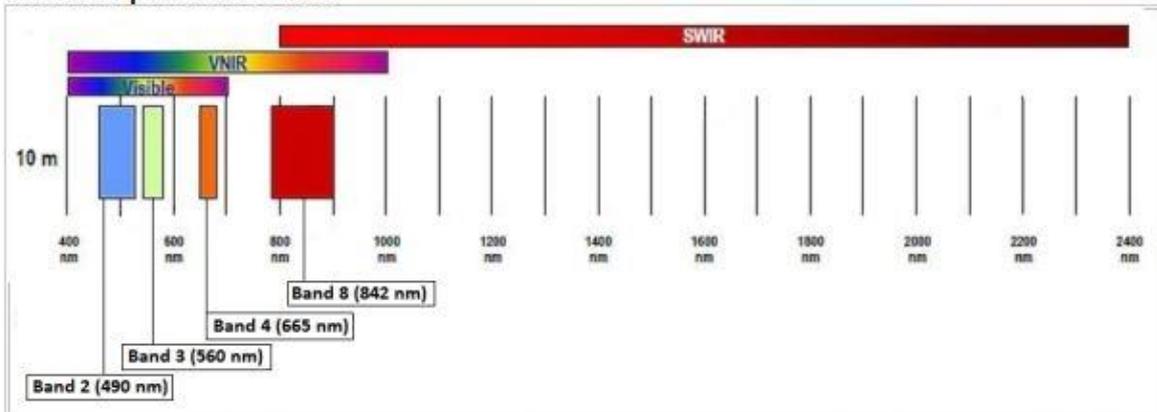


Figure 1: SENTINEL-2 10 m spatial resolution bands: B2 (490 nm), B3 (560 nm), B4 (665 nm) and B8 (842 nm)

20 metre spatial resolution:

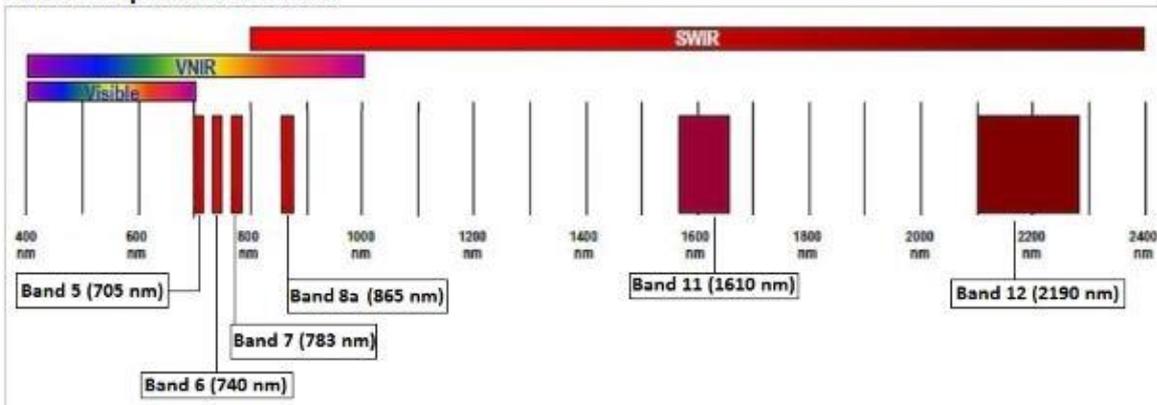


Figure 2: SENTINEL-2 20 m spatial resolution bands: B5 (705 nm), B6 (740 nm), B7 (783 nm), B8a (865 nm), B11 (1610 nm) and B12 (2190 nm)

60 metre spatial resolution:

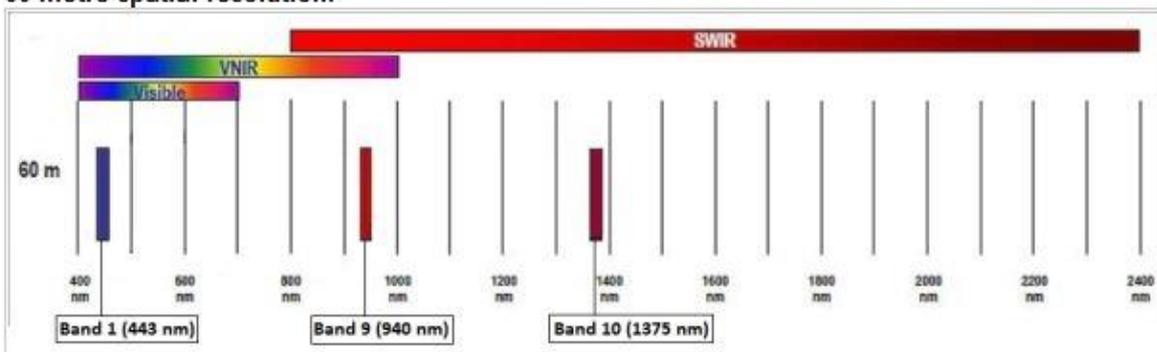


Figure 3: SENTINEL-2 60 m spatial resolution bands: B1 (443 nm), B9 (940 nm) and B10 (1375 nm)

Annexe 2 : Nomenclature objet

végétation	1	formation arborée	1.1	feuillus	1.1.1	chêne	1.1.1.1	chêne vert	1.1.1.1.1		
								chêne pubescent	1.1.1.1.2		
								hêtre	1.1.1.2		
								frêne	1.1.1.3		
								châtaignier	1.1.1.4		
								saule	1.1.1.5		
								alisier	1.1.1.6		
								érable	1.1.1.7		
								robinier	1.1.1.8		
								olivier	1.1.1.9		
								arbre fruitier	1.1.1.10		
								acacia	1.1.1.11		
				peuplier	1.1.1.12						
				conifères	1.1.2	pin	1.1.2.1	pin sylvestre	1.1.2.1.1		
								pin à crochets	1.1.2.1.2		
								pin d'Alep	1.1.2.1.3		
								pin noir	1.1.2.1.4		
								pin maritime	1.1.2.1.5		
						mélèze	1.1.2.2				
				cèdre	1.1.2.3	cèdre de l'Atlas	1.1.2.3.1				
				cèdre de l'Himalaya	1.1.2.3.2						
		sapin	1.1.2.4			sapin blanc	1.1.2.4.1				
						sapin du Colorado	1.1.2.4.2				
						sapin de Douglas	1.1.2.4.3				
				cyprés	1.1.2.5						
				épicéa	1.1.2.6						
	formation arbustive	1.2		genévrier	1.2.1						
					genêt	1.2.2					
					aubépine	1.2.3					
					sureau	1.2.4					
					vigne	1.2.5					
	formation herbacée	1.3		panicaut champêtre	1.3.1.1						
					oursin bleu	1.3.1.2					
					plante aromatique	1.3.1.3					
					pelouse naturelle	1.3.1					
				pelouse semi-nature	1.3.2						
				pelouse plantée	1.3.3						
				pâturage	1.3.4						
non végétation	2	surface d'eau	2.1	cours d'eau	2.1.1						
				retenue d'eau	2.1.2						
		artificialisation	2.2	chemin	2.2.1						
				route	2.2.2						
				bâti	2.2.3						
				sol nu	2.3						

Annexe 3 : Fond de carte zone 1

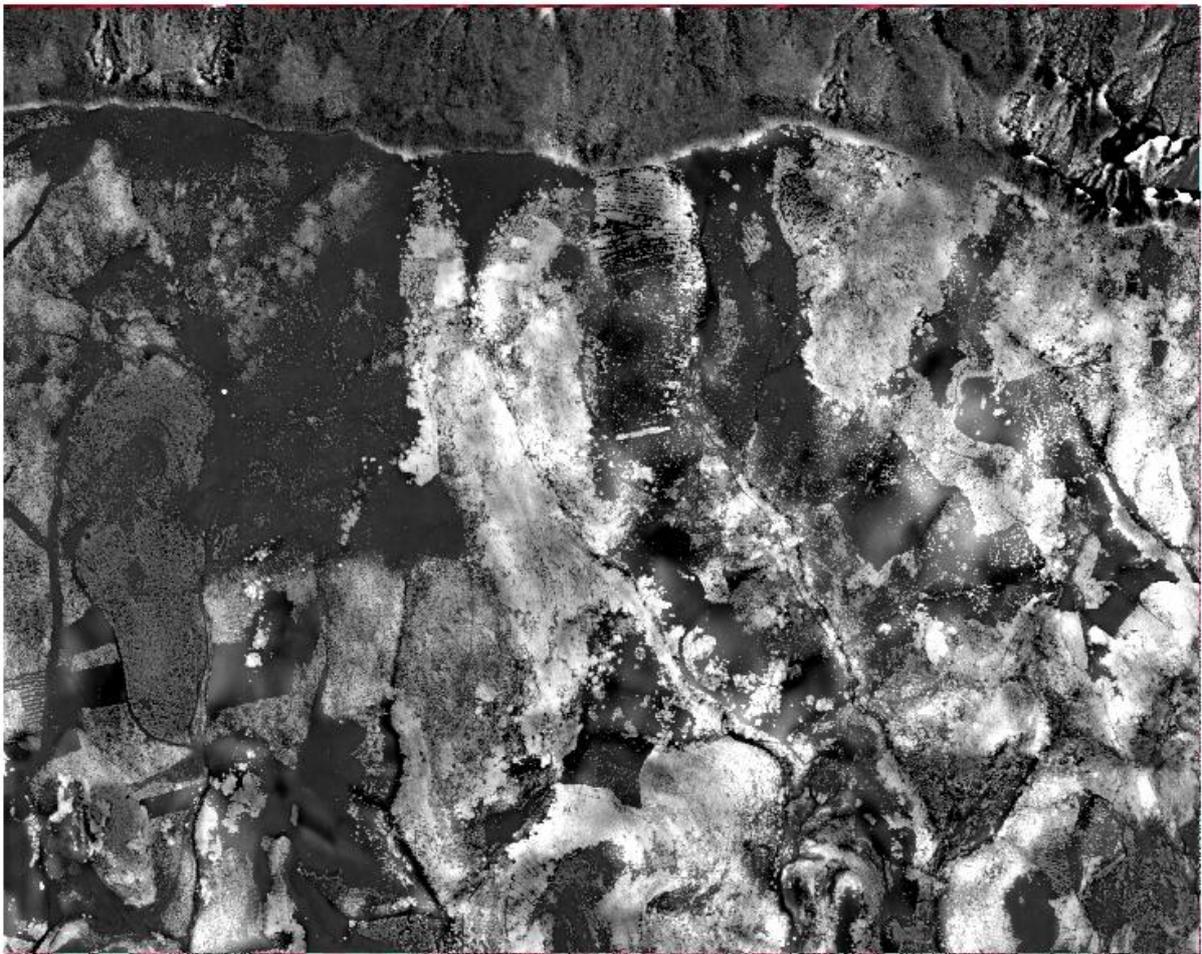


Annexe 4 : Photos terrain





Annexe 5 : MNE



Annexe 6 : Extrait du script Python

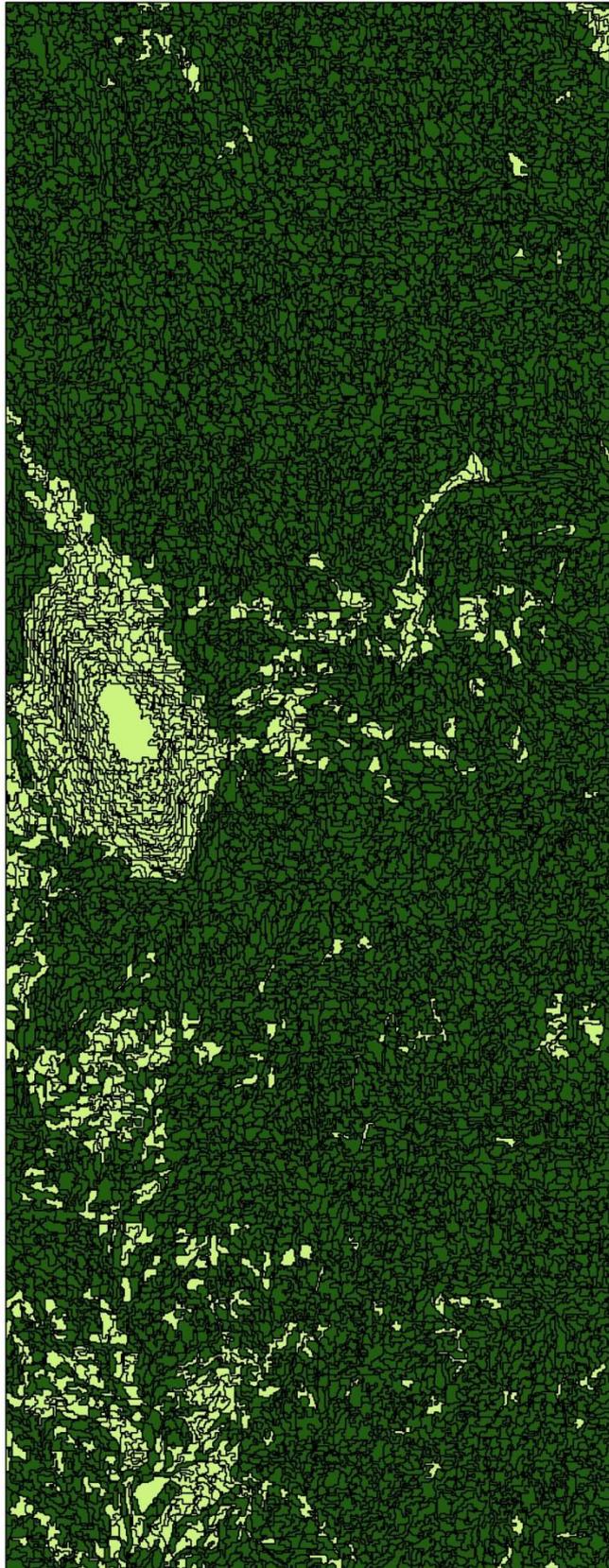
```

8 import fnmatch
9 import os
10
11 def choisir_fichier() :
12     return input("Choisir l'image tif de base avec la date (format: 20170729) : \n")
13
14
15
16 if __name__ == "__main__" :
17
18     liste_fichier = []
19     file_date = choisir_fichier()
20     liste_string = ""
21     chose_string = "*" + str(file_date) + "*"
22     liste_bandes = ["B01", "B02", "B03", "B04", "B05", "B06", "B07", "B08", "B8A", "B09", "B10", "B11", "B12"]
23     liste_fichier = fnmatch.filter(os.listdir('.'), chose_string)
24
25     for fichier in liste_fichier :
26         liste_string += str(fichier) + " "
27     if liste_fichier == [] :
28         print("Fichier non trouvé, relancez le programme")
29
30     choisir_methode = input("Choisissez une methode pour changer la resolution ('near'/'bilinear'/'cubic' (avec les guillemets)) : \n")
31
32     liste_fichier = []
33
34     for i in range(8) :
35         liste_fichier.append(str(fnmatch.filter(os.listdir('.'), str("*B0"+str(i+1)+"*"))[0]))
36
37     liste_fichier.append(str(fnmatch.filter(os.listdir('.'), str("*B8A*"))[0]))
38
39     for i in range(4) :
40         liste_fichier.append(str(fnmatch.filter(os.listdir('.'), str("*"+str(i+9)+"*"))[0]))
41
42     for i in range(len(liste_bandes)) :
43
44         #Changer le SCR de l'image en Lambert 93
45         nom_fichier = str(file_date) + liste_bandes[i]
46         new_nom = nom_fichier + "_" + str(choisir_methode) + "_L93.tif"
47         os.system("gdalwarp " + str(liste_fichier[i]) + " " + new_nom + " -t_srs EPSG:2154")
48
49         #Decouper les deux zones en fonction des coordonnées
50
51         new_name = []
52
53         nom_fichier = new_nom
54         new_name.append(nom_fichier.replace('.tif', '_zone1.tif'))
55         os.system("gdal_translate -projwln 910000 6343000 915000 6339000 " + nom_fichier + " " + new_name[0])
56
57         new_name.append(nom_fichier.replace('.tif', '_zone2.tif'))
58         os.system("gdal_translate -projwln 929000 6339000 934000 6326000 " + nom_fichier + " " + new_name[1])
59
60         #Changer la résolution de l'image -> taille du pixel 1x1 en utilisant la méthode bicubique
61         for j in range(2) :
62             nom_fichier = new_name[j]
63             new_name[j] = nom_fichier.replace('.tif', '_R1.tif')
64             os.system("gdalwarp -r "+ choisir_methode + " -tr 1 1 " + nom_fichier + " " + new_name[j])
65
66     liste_bandes_zone1 = []
67     liste_bandes_zone2 = []
68     for i in range(8) :
69         liste_bandes_zone1.append(str(fnmatch.filter(os.listdir('.'), str("*0"+str(i+1) + "*" + choisir_methode + "_L93_zone1_R1.tif*"))[0]))
70         liste_bandes_zone2.append(str(fnmatch.filter(os.listdir('.'), str("*0"+str(i+1) + "*" + choisir_methode + "_L93_zone2_R1.tif*"))[0]))
71
72     liste_bandes_zone1.append(str(fnmatch.filter(os.listdir('.'), str("*8A"+choisir_methode + "_L93_zone1_R1.tif*"))[0]))
73     liste_bandes_zone2.append(str(fnmatch.filter(os.listdir('.'), str("*8A"+choisir_methode + "_L93_zone2_R1.tif*"))[0]))
74
75     for i in range(4) :
76         liste_bandes_zone1.append(str(fnmatch.filter(os.listdir('.'), str("*"+str(i+9) + "*" + choisir_methode + "_L93_zone1_R1.tif*"))[0]))
77         liste_bandes_zone2.append(str(fnmatch.filter(os.listdir('.'), str("*"+str(i+9) + "*" + choisir_methode + "_L93_zone2_R1.tif*"))[0]))
78
79
80     string_bandes_zone1 = str(liste_bandes_zone1[7]) + " " + str(liste_bandes_zone1[3]) + " " + str(liste_bandes_zone1[2]) + " " + str(liste_bandes_zone1[1])
81
82     string_bandes_zone2 = str(liste_bandes_zone2[7]) + " " + str(liste_bandes_zone2[3]) + " " + str(liste_bandes_zone2[2]) + " " + str(liste_bandes_zone2[1])
83
84
85     #Concatener images des deux zones séparément
86
87     nom_final_zone1 = ("1-Image_finale" + str(file_date) + "_zone1" + ".tif")
88
89     nom_final_zone2 = ("1-Image_finale" + str(file_date) + "_zone2" + ".tif")
90
91
92     os.system("otbcli_ConcatenateImages -il " + string_bandes_zone1 + " -out " + nom_final_zone1)
93     os.system("otbcli_ConcatenateImages -il " + string_bandes_zone2 + " -out " + nom_final_zone2)
94
95     print("Fini !")
96

```

Annexe 7 : Tableau récapitulatif OA

Zone	Segmentation	Classification	Classes conservées	Attributs pris en compte	OA %	Remarques
2	Spot	parcelle	tout	NDVI_Spot, Har_IRC, Har_Spot, SAVL_Spot, RVL_Spot	82	
2	Sentinel2	parcelle	conifere_feuille=14, 111, 112, 113	NDVI_S2, Har_S2, SAVL_S2, RVL_S2, NDVI_IRC, Har_IRC, SAVL_IRC, RVL_IRC, MNE	78	
2	Sentinel2	parcelle	conifere_feuille_plante_nonplante=14, 111, 112, 113, 1221, 1223	NDVI_S2, Har_S2, SAVL_S2, RVL_S2, NDVI_IRC, Har_IRC, SAVL_IRC, RVL_IRC, MNE	71	peut-être un déficit d'échantillons pour les plantations
2	Sentinel2	parcelle	forêt_nonforêt=14, 1	NDVI_S2, Har_S2, SAVL_S2, RVL_S2, NDVI_IRC, Har_IRC, SAVL_IRC, RVL_IRC, MNE	100	peut déficit d'échantillons pour les éléments de prairie
2	Sentinel2	parcelle	naturel_plante=14, 11, 12	NDVI_S2, Har_S2, SAVL_S2, RVL_S2, NDVI_IRC, Har_IRC, SAVL_IRC, RVL_IRC, MNE	78	
2	Sentinel2	parcelle	vege_nonvege=1	NDVI_S2, Har_S2, SAVL_S2, RVL_S2, NDVI_IRC, Har_IRC, SAVL_IRC, RVL_IRC, MNE	100	inutile (une seule classe, uniquement de la végétation)
2	Sentinel2	parcelle	conifere_feuille=14, 111, 112, 113	NDVI_S2, Har_S2, SAVL_S2, RVL_S2, MNE	78	
2	Sentinel2	parcelle	conifere_feuille_plante_nonplante=14, 111, 112, 113, 1221, 1223	NDVI_S2, Har_S2, SAVL_S2, RVL_S2, MNE	71	peut-être un déficit d'échantillons pour les plantations
2	Sentinel2	parcelle	forêt_nonforêt=14, 1	NDVI_S2, Har_S2, SAVL_S2, RVL_S2, MNE	100	peut déficit d'échantillons pour les éléments de prairie
2	Sentinel2	parcelle	naturel_plante=14, 11, 12	NDVI_S2, Har_S2, SAVL_S2, RVL_S2, MNE	84	
2	SPT56	objet	classif_totale: tout	Haralick, MDVI, RVI, SAVI, IRC, Haralick	83	
2	SPT56	objet	forêt_nonforêt=13, 1, 2	Haralick, MDVI, RVI, SAVI, IRC, Haralick	97	
2	SPT56	objet	conifere_feuille=13, 111, 112, 2	Haralick, MDVI, RVI, SAVI, IRC, Haralick	94	
2	SPT56	objet	classif_totale: tout	Haralick, MDVI, RVI, SAVI	82	
2	SPT56	objet	forêt_nonforêt=13, 1, 2	Haralick, MDVI, RVI, SAVI	97	
2	SPT56	objet	conifere_feuille=13, 111, 112, 2	Haralick, MDVI, RVI, SAVI	94	
1	SPT56	objet	tout	Spot	84	
1	SPT56	objet	tout	Spot, IRC	85	
1	SPT56	objet	feuilus, conifères: tout	Spot, IRC, MNE	86	très bien pour conifères et feuillus, mais reste non
1	SPT56	objet	feuilus, conifères, regroupe tout le reste	Spot, IRC, MNE	97	
1	SPT56	objet	feuilus, conifères, regroupe tout le reste	Haralick sur B0, B1, B3, NDVI, mean_Spot, RVI, mean_Spot, capteurs SPx6 B0, B1, B2, B3	97	Spot mieux que IRC, MNE négligeable
1	SPT56	objet	tout	IRC	20	
1	SPT56	objet	feuilus, conifères: regroupe tout le reste	IRC	41	
1	SPT56	objet	feuilus, conif, regroupe tout le reste	Spot, MNE	98	bien
1	SPT56	objet	feuilus, conif, regroupe tout le reste	lin, lin_nn, attributs ndvi etc	48	les S2 n'ont aucune influence
1	SPT56	objet	forêt_non forêt: les 2 prem chiffres	IRC, Spot, MNE	87	confusion herbacées et chemins, arbustes et arbres
1	SPT56	objet	forêt_non forêt: les 2 prem chiffres	MNE	44	
1	SPT56	objet	forêt_non forêt, arbustes en arbre	IRC, Spot, MNE	90	
1	SPT56	objet	forêt_non forêt, arbuste en herba	IRC, Spot, MNE	88	arbre bien, confond chemin_herbacé
1	SPT56	objet	forêt_non forêt, chemin herbacées confondu	IRC, Spot, MNE	97	arbustes tous mal classés...
1	SPT56	objet	forêt_non forêt, chemin herbacées confondu, arbuste en arbre	IRC, Spot, MNE	99	bien
1	SPT56	objet	forêt_non forêt, chemin herbacées confondu, arbre vers reste	IRC, Spot, MNE	98	autre classé en arbre, surement ceux correspondant au arbustes



*Différenciation
forêt/non forêt*

Légende

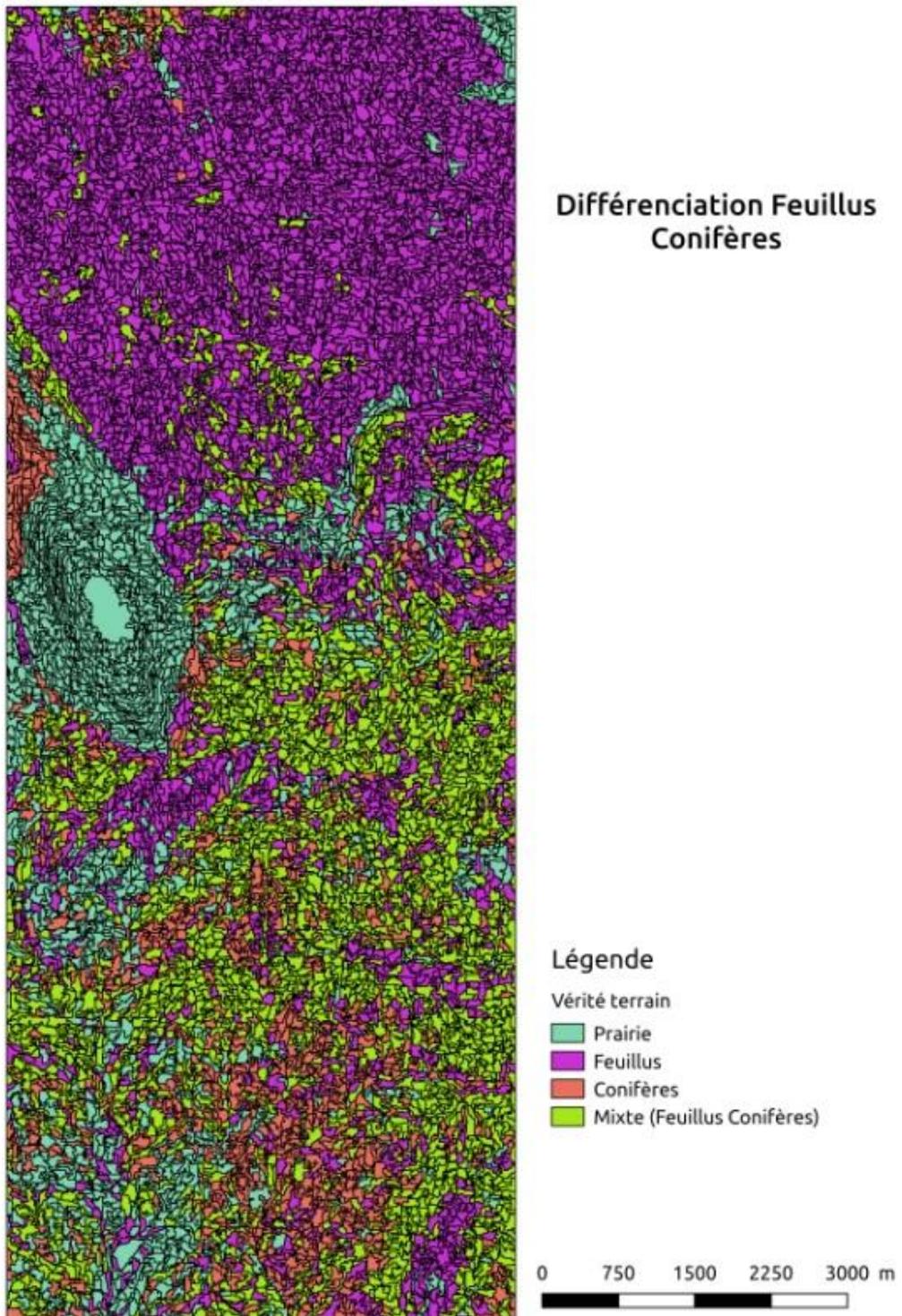
Vérité terrain

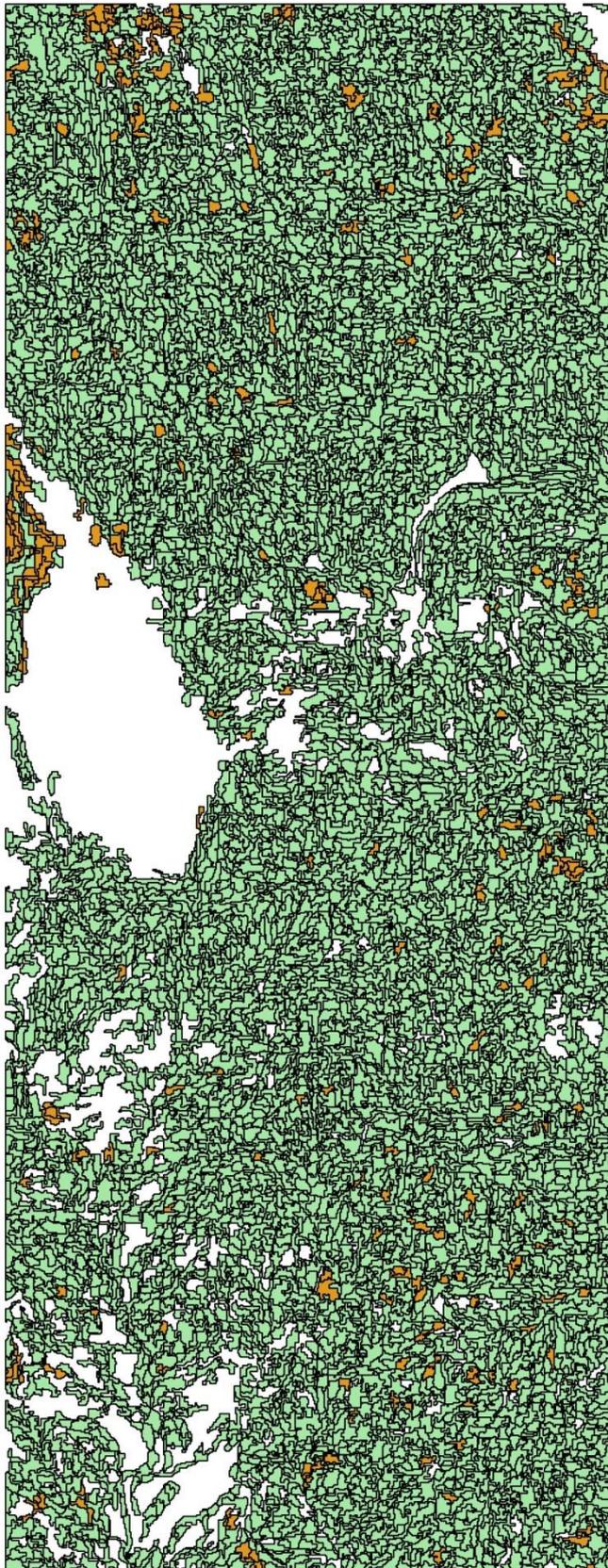
- Forêt*
- Non forêt (prairie)*

0 500 1000 1500 2000 m



Annexe 9 : Classification parcellaire zone 2 Feuillus/Conifères





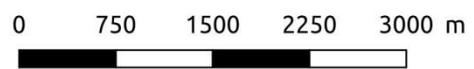
Différenciation entre la forêt naturelle et plantée

Légende

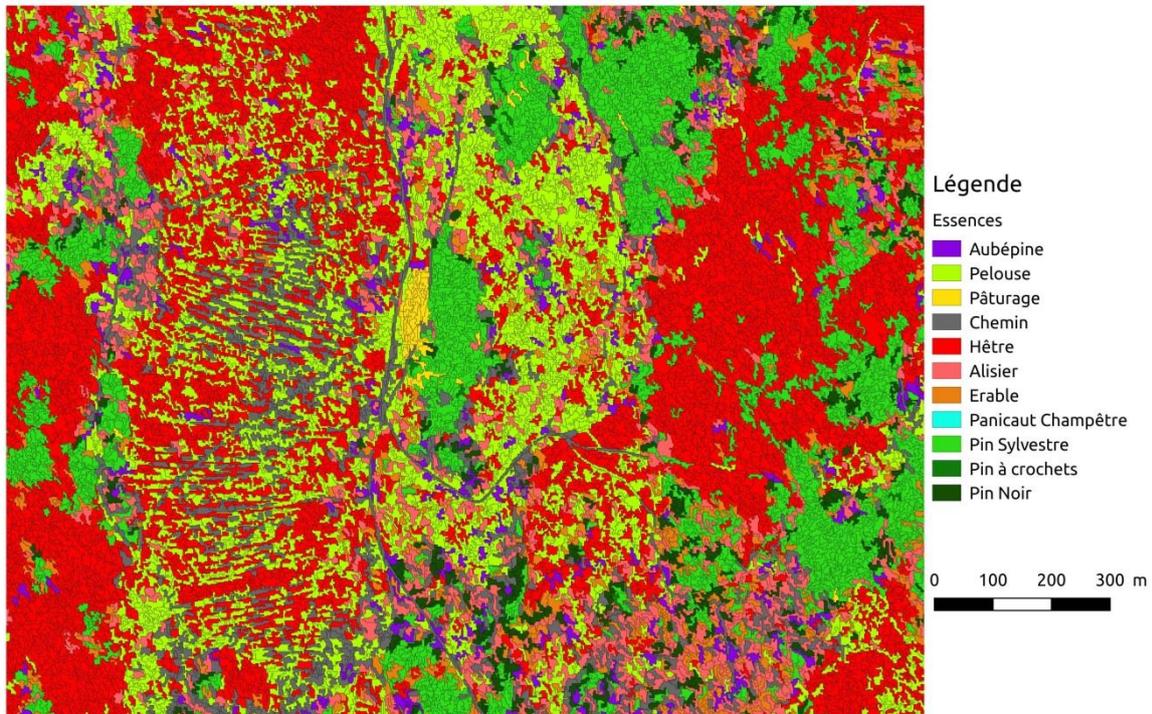
Vérité terrain

■ Forêt naturelle

■ Forêt plantée



Classification des essences SPOT6 Zone1



Classification des essences SPOT6 Zone1

