



Université de Toulouse

MASTER 2 GEOMATIQUE

« **ScIences Géomatiques en environneMent et Aménagement** » (**SIGMA**)

<http://sigma.univ-toulouse.fr>

RAPPORT DE STAGE

Thème : Gestion opérationnelle des espaces verts sous SIG

Degbégnon Geoffroy DJISSA



Stage au sein du Groupe APRR

Département Infrastructure Patrimoine et Environnement.

Du 01 Avril au 31 Août 2021

Maître de stage : Karine TOURET, *Responsable de la performance environnementale*

Enseignant-référent : Guillaume SUEUR, *Professeur à l'université Jean Jaurès*

Septembre 2021

REMERCIEMENTS

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de commencer ce rapport de stage par des remerciements, à ceux qui m'ont beaucoup appris au cours de ce stage, et aussi à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très profitable.

Je voudrais exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur Philippe GIGUET, Directeur Infrastructure, Patrimoine et Environnement (DIPE) et à son adjoint Monsieur Christophe MATHEY, pour m'avoir accordé cette opportunité d'effectuer mon stage au sein de la société APRR.

Je remercie Monsieur Guillaume SUEUR, l'enseignant tuteur de ce stage, pour son aide, ses conseils et le temps qu'il m'a accordés. Mes remerciements vont également à l'équipe enseignante du Master 2 Sciences Géomatiques en environnement et Aménagement de l'Université de Toulouse Jean-Jaurès & Toulouse INP-ENSAT.

Je tiens à remercier Madame Karine TOURRET, mon maître de stage, qui m'a accompagné et orienté au cours de mes missions.

Je remercie en particulier mes collègues de la DIPE pour leur accueil, leur bonne humeur et les nombreux conseils donnés. Merci également à toutes les personnes avec lesquelles j'ai pu travailler et découvrir l'activité de l'entreprise.

Enfin, une pensée particulière à ma famille, mes amis pour leur soutien et leurs encouragements.

RESUME

Le Groupe APRR œuvre pour préserver le patrimoine et la biodiversité, tout en proposant des infrastructures de transport performantes et innovantes pour répondre aux nouvelles attentes des clients et leur garantir les meilleures conditions de sécurité, de confort et d'information. Le Groupe m'a accueilli du 01 avril au 31 août 2021 en tant que stagiaire au sein du service performance environnementale de la Direction Infrastructure, Patrimoine et Environnement.

Le but de mon stage est de mettre en place un modèle cartographique d'aide à la gestion différenciée des espaces verts sur les aires d'autoroutes et de proposer un tableau de bord de suivi des indicateurs. L'objectif du stage a consisté à établir une typologie des zones d'entretien, une cartographie des zones et d'élaborer un tableau des indicateurs.

L'enjeu est de rationaliser les interventions des agents dans le domaine des espaces verts et permettre aux managers de suivre l'indicateur de fauchage tardif. La méthodologie utilisée est la modulation intra-parcellaire qui consiste à identifier sur une parcelle les espèces de caractéristiques similaires. Elle a été appliquée sur deux aires : une aire de repos de 6 ha et un couple d'aires de service de 90 ha. Le résultat obtenu est la cartographie des aires selon 4 zones d'entretien en fonction des intervalles NDVI d'images satellitaires sentinel-2.

Ce rapport présente de manière synthétique la méthodologie et le résultat obtenu afin d'accompagner la responsable de la performance environnementale du Groupe dans le déploiement de la politique de gestion opérationnelle des espaces verts. [247 mots]

ABSTRACT

APRR works to preserve heritage and biodiversity, while offering innovative and efficient transport facilities to meet new customer expectations and ensure they are well informed and enjoy the best safety conditions and comfort. The Group granted me a stay from April 01, 2021 to August 31, 2021 as an intern in the environmental performance section of the Infrastructure, Heritage and Environment Department.

The goal of my internship is to set up a cartographic model to help the differentiated management of green spaces on motorway service areas and to offer a dashboard for monitoring indicators. The objective of the internship was to establish a typology of maintenance areas, an area mapping and to propose a table of indicators. The challenge is to rationalize the interventions of agents in green areas and allow managers to monitor the late mowing indicator. The methodology used is intra-plot modulation, which consists in identifying species with similar characteristics on a plot. It was applied to 2 areas: a 6 ha rest stop and a couple of 90 ha service areas. The result obtained is the mapping of areas according to 4 maintenance zones based on the NDVI intervals of sentinel-2 satellite images.

This report summarizes the methodology and the results obtained in order to support the head of the Group's environmental performance in the implementation of the operational management policy for green areas.

TABLE DES FIGURES

Figure 1: GANTT	7
Figure 2: Différentes versions de plans de fauchage sur la DR Rhône	12
Figure 3 : Présentation de l'aire du Rossignol	15
Figure 4: Présentation du couple d'aires Beaune Tailly-Merceuil.....	16
Figure 5: Interface de sélection des bandes avec l'extension « Semi Automatic Classification »	17
Figure 6 : Caractéristiques des bandes spectrales de sentinel-2. Source : ResearchGate.....	18
Figure 7:Cartes d'NDVI des aires avec 10m de taille des pixels.....	18
Figure 8:Cartes d'NDVI des aires avec 2m de taille de pixel.....	19
Figure 9: Légende du diagramme de flux.....	20
Figure 10: Diagramme de flux	21
Figure 11: Diagramme de flux, suite.....	22
Figure 12: Carte des zones d'entretien sur l'aire du Rossignol travaillées sur les intervalles NDVI.....	24
Figure 13:Emprise de l'aire du Rossignol.....	25
Figure 14: Carte des zones d'entretien du couple d'aires de Beaune Tailly et Merceuil travaillées sur les intervalles NDVI	26
Figure 15: Emprise du couple d'aires Beaune Tailly-Merceuil	26
Figure 16 : graphique des ratios horaires établis par Plante & Cité	28
Figure 17 : Plan de fauchage actuel de l'aire du Rossignol	iii
Figure 18: Plan de fauchage actuel du couple d'aires Beaune Tailly-Merceuil.....	iii
Figure 19 : image satellitaire bande 4, aire du Rossignol.....	iv
Figure 20: image satellitaire Bande 8 , aire du Rossignol.....	iv
Figure 21: image satellitaire bande 4, couple d'aires Beaune Tailly-Merceuil.....	v
Figure 22: Image satellitaire bande 8, couple d'aires Beaune Tailly-Merceuil	v

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Historique du Groupe APRR.....	4
Tableau 2: Point des entretiens attendus par le Groupe. Source : Politique espaces verts APRR.....	13
Tableau 3: Tableau des indicateurs, aire du Rossignol	29
Tableau 4:Tableau des indicateurs, couple d'aires Beaune Tailly-Merceuil	29

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	C
RESUME.....	D
ABSTRACT	D
TABLE DES FIGURES	E
TABLE DES TABLEAUX.....	E
SOMMAIRE	F
INTRODUCTION.....	1
I) CADRE DU STAGE.....	3
A) Présentation du Groupe APRR.....	3
1. Activités et historique	3
2. Organisation du Groupe et réseau autoroutier	4
3. Organisation du stage.....	7
B) Gestion différenciée des espaces verts	8
1. Définition de la gestion différenciée des espaces verts.....	8
2. Politique et enjeux.....	8
II) MATERIEL ET METHODES	11
A) Etat des lieux	11
1. Revue des plans de fauchage existants	11
2. Etude du plan schématique d’entretien souhaité par le service environnement du Groupe :	13
B) Méthodologie.....	14
1. Etablir les définitions des zones.....	14
2. Cartographie du plan de fauchage sur les aires d’autoroutes.....	15
Conclusion.....	31
Bilan personnel.....	32
Bibliographie	33
ANNEXES	i
Table des matieres	vii

INTRODUCTION

Urbanisation et dégradation de l'environnement sont deux notions fortement corrélées. La question de l'écologie est omniprésente et elle constitue un sujet d'intérêt majeur pour les populations, les professionnels et les décideurs. Le transport est l'objet de toutes les attentions car il est le secteur d'activité le plus impactant sur l'environnement (destruction d'habitat, artificialisation, bruit, pollution, déchets...).

Si les projets d'aménagement de grandes infrastructures affectent directement les sols, les conséquences sur l'environnement d'une autoroute en service sont plus nombreuses : l'artificialisation des espaces, le développement économique à proximité des infrastructures routières, ont un impact irrémédiable sur l'écologie des habitats (destruction, perturbation, fragmentation).

En effet, les commerces, les infrastructures et les équipements publics qui s'érigent sur place entraînent une imperméabilisation irrémédiable des sols. À titre illustratif, les statistiques révèlent que c'est entre 20 000 et 30 000 hectares qui sont artificialisés chaque année en France. Autrement dit, l'artificialisation augmente presque 4 fois plus vite que la population. Elle a des répercussions directes sur la qualité de vie des citoyens, mais aussi sur l'environnement ^[1].

C'est une situation qui n'est pas pérenne. Comme il est difficile de stopper le développement des réseaux routiers, il est urgent d'agir pour diminuer ou compenser les effets néfastes de cette artificialisation.

Le Groupe APRR exploite 2 323 km d'autoroute en France, ce qui représente l'équivalent de 6000 ha de surfaces artificialisées. Il est impliqué dans plusieurs projets d'aménagement d'infrastructures routières, il a en charge l'entretien des espaces verts situés aux abords de ces routes, soit plus de 1400 ha. Le Groupe a aussi en charge la gestion de 268 aires d'autoroutes dont 171 aires de repos et 97 aires de service : les aires de repos ont une emprise allant de 1 ha à plus de 9 ha comme l'aire de Loyère sur l'autoroute A6 qui a 9,5 ha de superficie ; quant aux aires de service, plus grandes, elles peuvent s'étendre sur plus de 45 ha comme c'est le cas pour l'aire de Beaune Tailly qui a une emprise de 46,5 ha.

La végétation couvre environ 90 % de la surface des aires de repos. C'est d'ailleurs un espace principalement dédié pour accueillir le public sur une surface réduite qui se limite au cœur de l'aire (édicules, parkings, tables de pique-nique, points de tri). Les aires de service accueillent du public sur une surface plus conséquente, elles comportent la distribution carburant et la restauration fonctionnant 24/24 365/365. En effet, près de 70 % de la superficie des aires de services sont aménagés en espaces verts qui se caractérisent par différentes déclinaisons ; si à certains endroits on retrouve de la végétation herbacée et les arbustes, ailleurs, les aires peuvent être fortement boisées voire des aires forestières.

Cette disparité de paysage et d'espace ne favorise pas une harmonisation des pratiques d'entretien. De plus, pour faire cohabiter les écosystèmes et le public, la gestion différenciée des espaces peut être une réponse efficace pour freiner et résorber les problématiques d'artificialisation tout en offrant un espace de détente agréable aux clients. La gestion

différenciée s'inscrit dans les principes de développement durable en tant que levier d'aménagement qualitatif et évolutif. C'est un principe qui vise l'amélioration de la qualité des paysages, sans compromettre d'aucune façon la pérennité des espèces sauvages. Sa mise en œuvre favorisera également l'optimisation du temps de travail des agents et la limitation de l'exposition aux produits phytosanitaires [2].

C'est pourquoi le Groupe APRR s'engage dans cette méthode d'entretien sur l'emprise de son réseau à travers sa nouvelle politique d'entretien des espaces verts qui représentent plus de 10 000 hectares. C'est sur ce projet conduit par la Direction des Infrastructures Patrimoine et Environnement (DIPE) du Groupe que j'ai travaillé au cours de mon stage. Pour bien étudier cette thématique relative à la gestion opérationnelle des espaces verts à l'aide du SIG, je me suis intéressé aux questions suivantes :

- Est-ce que le Groupe pratique déjà cette gestion différenciée ?
- Comment est-ce que la gestion différenciée des espaces verts est perçue au sein d'une société autoroutière ?
- Comment appliquer cette méthode de gestion des espaces verts sur l'emprise autoroutière ?
- Comment se servir de l'outil « Système d'Information Géographique » pour mettre en place un plan de gestion différenciée efficace ?

Pour apporter des solutions à ces interrogations, j'ai organisé le présent rapport en trois parties :

- La première partie présente l'historique, l'activité et l'organisation de l'entreprise ;
- La deuxième partie expose le concept de la gestion différenciée des espaces verts, les enjeux et les objectifs du Groupe APRR ;
- La troisième partie traite des outils utilisés pour construire le plan de gestion différenciée, des résultats obtenus et des axes de prolongement à poursuivre.

I) CADRE DU STAGE

A) Présentation du Groupe APRR

Le Groupe APRR, constitué de la société éponyme APRR et de sa filiale rhônalpine AREA, est détenu par Eiffage (consortium d'Eiffage et Macquarie). Eiffage, actionnaire majoritaire d'APRR, se distingue en France et dans le monde par la diversité de ses compétences et de son savoir-faire technique. Le Groupe Eiffage est organisé autour de quatre branches comprenant huit métiers, dont la branche Concessions. APRR est concessionnaire de 2 323 kilomètres d'autoroutes sur les 8 944 km du réseau français, il est le 2e Groupe autoroutier français et le 4e en Europe. Le siège du Groupe APRR se situe à Saint - Apollinaire (Côte d'Or), où se trouvent l'ensemble des directions (cf. annexe 1).

AREA, filiale d'APRR, aménage et gère un réseau de 408 km, qui relie entre elles les grandes villes rhônalpines : Lyon et Annecy, Chambéry, Grenoble, Valence. AREA connecte les voyageurs vers la Suisse et l'Italie, les tunnels du Mont-Blanc et du Fréjus, et donne accès au premier domaine skiable du monde.

La mission principale du Groupe est de financer, construire, entretenir et gérer le réseau autoroutier français ainsi que les ouvrages à péage confiés par l'État en contrepartie de la perception du péage. Le Groupe travaille à préserver le patrimoine et la biodiversité, tout en proposant des infrastructures de transport performantes et innovantes pour répondre aux nouvelles attentes des clients et leur garantir les meilleures conditions de sécurité, de confort et d'information. Un des enjeux du Groupe est la préservation de la biodiversité sur les aires dans un contexte de circulation routière et d'accès du public pour des usages récréatifs.

1. Activités et historique

◆ Activités du Groupe APRR

Conformément aux contrats de concession, le Groupe réalise des investissements importants sur son réseau de 2 323 km. Ainsi, entre 2006 et 2011, APRR a investi 2 400 millions d'euros. Le Groupe a ainsi permis de fluidifier le trafic, de rendre l'autoroute plus accessible et de mieux desservir les territoires. Il s'agit, en effet, d'entretenir le patrimoine qui lui a été confié, d'améliorer les conditions du voyage et de répondre aux nouvelles attentes de mobilité de ses clients. Conformément aux contrats de plan 2014-2018, APRR consacre également 500 millions d'euros pour améliorer les infrastructures. Dans le cadre du plan de relance autoroutier signé avec l'État en novembre 2018, APRR s'est engagé à investir 719 millions d'euros supplémentaires d'ici 2022. Les 3 500 collaborateurs du Groupe APRR proposent des infrastructures de transport performantes et accompagnent les clients à chaque étape de leur voyage, en leur garantissant les meilleures conditions de sécurité, de confort et d'information.

◆ Historique

1961	Création de la société de l'autoroute Paris-Lyon : SAPL
1963	Ouverture du 1er tronçon de l'A6
1971	Création d'AREA, Association pour la réalisation et l'exploitation d'autoroutes
1975	La SAPL devient la SAPRR, société des autoroutes Paris-Rhin-Rhône
1994	AREA devient filiale de la SAPRR
2004	Ouverture du capital de la SAPRR, entrée en Bourse
2006	L'État cède le contrôle d'APRR et AREA à Eiffage, société dont les actionnaires sont Eiffage (50 % + 1 action) et Macquarie (50 % - 1 action). Nouvelle organisation du Groupe APRR avec la création de directions centrales Groupe
2008	Mise en service de la section A41 LIANE : Annecy – Genève (concessionnaire ADELAC filiale à 49,9 % d'AREA)
2011	50 ans d'APRR • 40 ans d'AREA • 20 ans de SIRA (Autoroute INFO 107.7)
2012	OPRO, sortie de Bourse d'APRR (100 % Eiffage)
2015	Signature le 9 avril d'un accord entre l'État et les Société concessionnaires d'autoroutes concernant la politique tarifaire et le plan de relance autoroutier. Fusion des concessions APRR et du Tunnel Maurice-Lemaire.

Tableau 1 : Historique du Groupe APRR

2. Organisation du Groupe et réseau autoroutier

◆ Organisation d'APRR

Les Directions Centrales

Les directions centrales sont des directions « fonctionnelles ». Elles désignent les 6 directions rattachées au siège social et sont réparties sur les 3 sites : Saint-Apollinaire, Vélizy-Villacoublay et Lyon (cf. annexe 1).

Les directions régionales (DR)

Les directions régionales sont des directions opérationnelles. Au nombre de 3, elles sont rattachées à la direction de l'exploitation : DR Paris, DR Rhin, DR Rhône.

A leur tête, le directeur régional anime, coordonne et contrôle l'activité des districts et des agences de péages de sa région.

Chacune des régions regroupe 6 à 8 districts.

Les districts

Les districts sont des unités opérationnelles créées au sein de chaque direction régionale. Ils assurent au plus près du réseau les missions suivantes :

- Le service viabilité et sécurité est en charge de la sécurisation du réseau, de l'entretien des voies et des aires de repos ;
- Le service parc-bâtiments s'occupe de l'entretien des bâtiments, des ateliers et du parc des véhicules d'intervention ;
- Le service de planification des travaux.

Le nombre de districts est variable selon la configuration du réseau qui lui est alloué. Un district représente 80 à plus de 200 km d'autoroutes.

DR Paris : 613Km (6 districts)

DR Rhin : 725Km (8 districts)

DR Rhône: 504Km (7 districts)

◆ Le réseau autoroutier

La carte du réseau autoroutier est présentée en annexe 2.

Réseau APRR

A5	Paris (La Francilienne) – Langres (A105 – ex-A5b : 10 km)	247 km
A6	Paris (Saint-Germain/École) – Lyon (Limonest)	401 km
A19	Sens – Courtenay	28 km
A26	Troyes-Nord – Troyes-Est	22 km
A31	Beaune – Toul (dont A311 : 4 km)	233 km
A36	Beaune – Mulhouse	217 km
A39	Dijon – Bourg-en-Bresse (dont A391 : 5 km)	150 km
A40	Mâcon – Bellegarde (Châtillon-en-Michaille)	104 km
A404	Antenne d'Oyonnax	21 km
A406	Contournement sud de Mâcon	9 km
A42	Miribel – Pont-d'Ain	49 km
A432	Les Échets – Saint-Laurent-de-Mure	31 km
A46	Anse – Neyron	26 km
A466	Liaison A6-A46	5 km
A71	Bourges – Clermont-Ferrand (dont A710 : 2 km)	180 km
A75	Clermont-Ferrand-Est – Le Crest	10 km
A714	Bretelle de Montluçon	10 km
A719	Gannat – Vichy	23 km
A77	Dordives – Cosne-sur-Loire	101 km
A89	Limonest – La-Tour-de-Salvigny	5 km
Tunnel Maurice-Lemaire	(dont 4 km d'accès)	11 km

Réseau AREA

A41	Chambéry-Sud – Grenoble	51 km
A41/A410	Chambéry-Nord – Annecy – Autoroute Blanche	77 km
A41*	(Liane) Annecy – Genève	19 km
A43/A430	Lyon – Chambéry – Albertville	122 km
A432	Saint-Laurent-de-Mure – A43	5 km
A48	Coiranne – Saint-Égrève	51 km
A480	Saint-Égrève – Claix	15 km
A49	Voreppe – Valence	62 km
A51	Grenoble – col du Fau	26 km

3. Organisation du stage

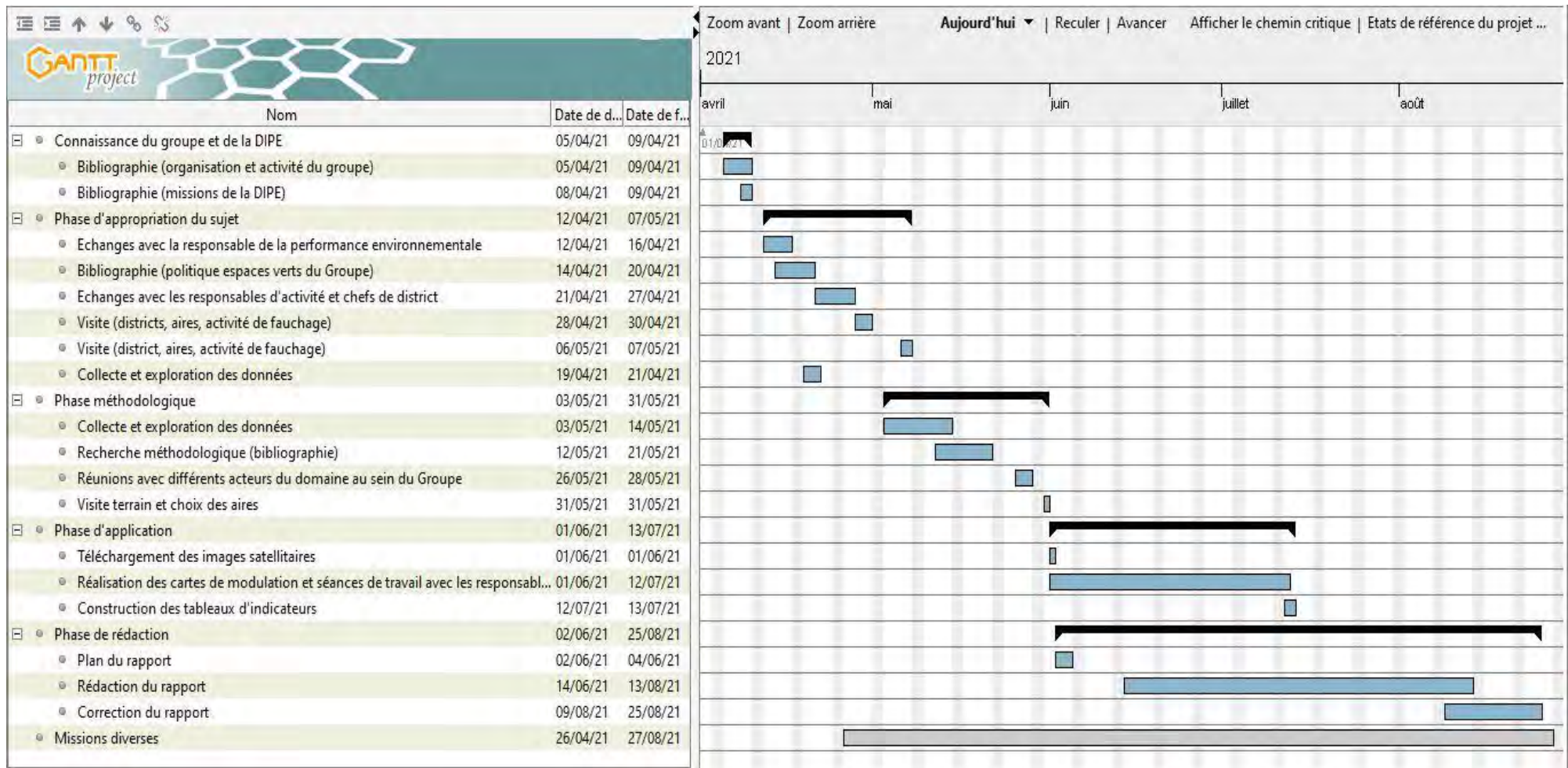


Figure 1: GANTT

B) Gestion différenciée des espaces verts

1. Définition de la gestion différenciée des espaces verts

Parue dans les années 1990 en France, la technique de la Gestion Différenciée des espaces verts est devenue pour la plupart des communes de France un moyen pour aménager, entretenir et pérenniser les espaces verts urbains ou péri-urbains.

Plusieurs documents ont clarifié le concept de Gestion Différenciée des espaces verts. On peut mettre en évidence quelques-unes de ces définitions.

« La Gestion Différenciée des espaces se traduit notamment par la mise en place au cas par cas de techniques particulières et adaptées en fonction du milieu »^[3].

Cette définition traduit le sens des mots clés que sont “Gestion” et “Différenciée” par « *la mise en place au cas par cas de techniques particulières et adaptées* ». On comprend que tous les espaces n’ont pas besoin d’être entretenus de la même façon. Ainsi pour chaque espace vert, la Gestion Différenciée adapte l’entretien en fonction de l’usage qui en est fait et les attentes du public. On peut rechercher sur un site, un aspect maîtrisé (absence de végétation spontanée, taille architecturée des arbres, pelouses tondues court, fleurissement horticole...), tandis que sur d’autres il pourra être intéressant d’avoir un aspect plus champêtre, qui laisse plus de place à la nature.

« Dans l’optique de la gestion différenciée, le concepteur paysagiste crée un espace adapté à son milieu (sol, climat, environnement urbain, ...). Il limite l’entretien et les traitements phytosanitaires, favorise le développement d’une diversité faunistique et floristique, tout en respectant le cahier des charges »^[4].

Cette définition de la gestion différenciée est plus technique et précise qu’il ne s’agit pas seulement de méthode d’entretien, mais aussi d’un projet avec un objectif clair. On parle de création d’espace adapté à son paysage avec une volonté d’améliorer la biodiversité tout en respectant un cahier de charge. Il y a préalablement une réflexion, une collection d’informations et la rédaction d’un document récapitulatif l’ensemble des pratiques d’entretien des espaces verts permettant de répondre aux objectifs fixés.

2. Politique et enjeux

◆ La politique d’entretien des espaces verts chez APRR

Le réseau autoroutier de 2 323 km exploité par le Groupe APRR impose une emprise importante à faucher dont les talus, les accotements, les fossés etc... sur une bande de 3m des 2 côtés de la route pour assurer la sécurité du réseau. Ayant 171 Aires de repos et 97 Aires de service avec une présence forte de la végétation, le Groupe se doit d’assurer un entretien en phase avec le besoin des usagers.

Le Groupe APRR s'engage à travers sa politique de gestion et d'entretien des espaces verts et espaces naturels autoroutiers, à bien concevoir et mieux gérer les espaces végétalisés. Un engagement traduit dans l'objectif de cette politique comme suit, je cite : « *Intégrer un nouveau référentiel de pratiques en fonction de l'usage et non simplement basé sur l'esthétisme, bannir la notion de « propre » et s'intéresser plutôt à la notion de maîtrise, percevoir les espaces verts comme un patrimoine à préserver, constituent la rupture avec les habitudes passées* »^[5]. On lit clairement à travers cette phrase le concept de la Gestion Différenciée.

L'intérêt de la politique d'entretien différenciée des espaces verts est de contrôler le développement de la végétation tout en maintenant une diversité paysagère, une diversité d'essences, et en luttant contre les espèces exotiques envahissantes.

- Sécuriser le domaine

La sécurisation des personnes circulant, consiste à :

- Dégager la visibilité des courbes et des carrefours pour un automobiliste ;
- Marquer la délimitation du bord de chaussée ;
- Assurer la visibilité de la signalétique horizontale et verticale ;
- Dégager les voies de circulation pour le piéton.

- Prévenir les désordres sur l'infrastructure

La végétation et l'eau constituent, avec le sel, les principaux agents de dégradation d'une infrastructure. L'entretien de la végétation sur les zones désignées consiste à supprimer ou maintenir à un niveau acceptable la végétation jugée gênante ou préjudiciable à la pérennité de la structure ou du fonctionnement d'un ouvrage ou d'un équipement.

- Intégrer l'autoroute dans les territoires traversés

La végétation permet l'intégration paysagère des autoroutes vis-à-vis des riverains et des paysages environnants en offrant une mosaïque végétale parfois absente dans les territoires de grandes cultures.

- Luttés contre les espèces envahissantes

L'entretien de la végétation consiste à lutter contre certaines espèces conformément à la réglementation.

- Satisfaire un niveau de qualité d'accueil des aires

L'ambiance artificialisée d'une aire est améliorée par la présence d'espaces verts et d'espaces naturels qui offrent des lieux de repos, récréatifs ou de promenade. Ces espaces mettent en valeur les services d'accueil du public et jouent un rôle majeur dans l'attractivité des aires.

- Apporter des bénéfices environnementaux

Les espaces verts et les espaces naturels présentent un rôle primordial pour :

- Stabiliser les talus et les poussières ;

- Epurer l'atmosphère: production d'oxygène et fixation de polluants ;
- Réguler les températures par effet d'îlot de fraîcheur ;
- Infiltrer l'eau et agir favorablement pour prévenir les inondations ;
- Offrir des espaces refuge pour la flore et la faune locales
- Préserver les zones humides.

Cette politique fait l'objet d'une revue annuelle par la Direction des Infrastructures, Patrimoine et Environnement (DIPE) en fonction des indicateurs de performance :

- 1- La consommation des produits phytosanitaires et produits dits de biocontrôle ;
- 2- Les surfaces en gestion écologique (fauchage tardif) ;
- 3- Les surfaces en éco-pâturage ;
- 4- Le respect des engagements de compensation.

L'objectif de mon travail contribue à établir l'indicateur de performance numéro 2.

◆ **Les enjeux de la gestion différenciée des espaces verts**

Après avoir exposé les différentes définitions et visions du Groupe de la gestion différenciée, nous allons aborder les différents enjeux que celle-ci peut créer dans sa mise en place et sa pérennisation.

Au plan écologique :

La gestion différenciée a pour but d'avoir le moins d'impact possible sur l'environnement. Les enjeux sont donc de limiter les pollutions en réduisant l'utilisation des produits phytosanitaires, de gérer les ressources naturelles en réalisant des économies d'eau et de laisser s'exprimer les écosystèmes végétaux déjà présents sur les aires. Nous avons des enjeux de réduction des nuisances et impacts liées à l'autoroute, en tempérant les écarts climatiques par exemple.

Au plan économique :

L'enjeu du district porte principalement sur le temps de main d'œuvre et le coût du matériel et sa maintenance. Un aménagement du rythme de tonte pour diminuer la fréquence des passages est nécessaire. Restreindre les pratiques énergivores au profit de pratiques plus économes (paillage produits sur place). Installer ou favoriser l'émergence - des végétaux locaux qui résistent mieux aux aléas climatiques (couloir venteux, sécheresse...) spécifiques sur autoroutes. Repenser l'entretien des arbustes pour utiliser pleinement leur potentiel paysager

Au plan sociétal :

La gestion différenciée permet de créer des espaces en relation avec l'utilisation des lieux et les attentes des usagers. Si une aire ne répond plus aux attentes des clients, non seulement elle donnera une mauvaise image du Groupe mais aussi elle sera délaissée malgré tout le potentiel paysager qu'elle possède. Ainsi, il est important de conserver un bon rendu esthétique des espaces tout en tenant compte de la valeur symbolique accordée à certains lieux.

Le Groupe veille à préserver une qualité d'accueil et de bien-être des clients qui profitent de ces espaces pour diverses activités de détente (pique-nique, marche, jeu...).

II) MATERIEL ET METHODES

Préalablement à la méthodologie adoptée pour établir les plans de fauchage, il est nécessaire de préciser les outils et les sources de données :

Les logiciels et applications utilisés sont :

- QGIS,
- AutoCAD,
- le logiciel d'observation de la terre (Google Earth).

Les Source de données :

- le SIG de l'entreprise et le plan patrimoine des aires,
- le site de téléchargement d'images satellitaires (Copernicus),
- les planches kilométrique des plans de fauchage des districts,
- Visite du parc matériel espace vert du district du Centre Bourgogne,
- Visite des aires du Rossignol, de Jugy, Boyer,
- Interviews des responsables d'activités et des adjoints chefs de districts.

A) Etat des lieux

Avant de commencer toutes démarches, il est indispensable de connaître parfaitement le niveau d'avancement du projet au sein du Groupe. J'ai parcouru différents documents internes, en particulier : « *la Politique de Gestion et d'entretien des espaces verts et espaces naturels autoroutiers* », « *le Guide Espaces verts : aires et bâtiments* » et « *les planches kilométrique des plans de fauchage des districts* ». Cette démarche m'a permis de ressortir l'ensemble des moyens et besoins du Groupe.

1. Revue des plans de fauchage existants

◆ Inventaire des plans de fauchage

Chaque district s'occupe de tronçons autoroutiers entre 80 à 200 km sur lesquels il effectue des travaux de surveillance, de gestion et d'entretien afin de garantir une fluidité de circulation des clients. L'entretien du tracer implique aussi l'entretien des espaces verts sur les aires d'autoroutes.

Tout district du réseau APRR dispose d'un plan de fauchage qu'il exécute sur une année d'exercice pour entretenir les espaces verts sur son périmètre. J'ai commencé à recenser les documents sur la région Rhône qui regroupe 7 districts. Ces derniers ont des plans de fauchage différents entre districts et au sein du district. La diversité des plans de fauchage est à la fois sur la légende, les codes couleurs et l'entretien des espaces similaires. Au total 74 plans de fauchage pour les 7 districts de la région et répartis comme suit :

- 12 pour le district de l'Ain
- 10 pour le district Haut Bugey
- 9 pour le district du Centre Bourgogne
- 6 pour le district Villefranche
- 21 pour le district d'Auvergne
- 10 pour le district Centre de la France
- 6 pour le district Val de Saône

Quelques exemples des plans de fauchage actuels au sein du Groupe :

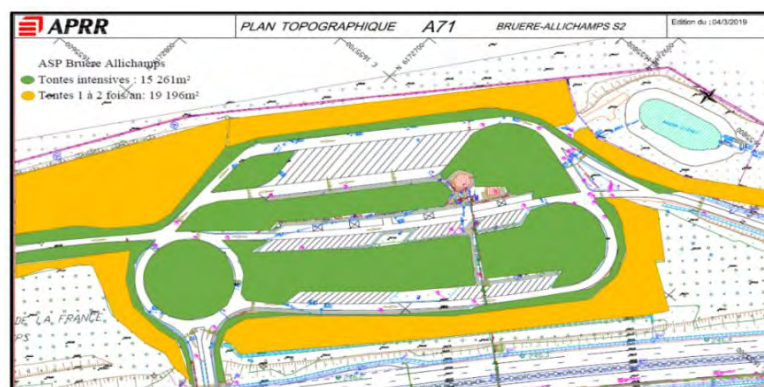
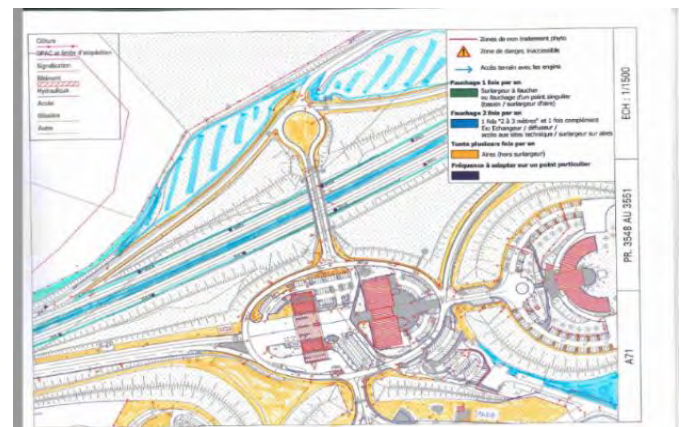


Figure 2: Différentes versions de plans de fauchage sur la DR Rhône

Ces plans ne sont pas compréhensibles à première vue. Bien que ceux qui s'en servent actuellement ont une aisance à les appliquer, le souci est à plusieurs niveaux :

Absence d'homogénéité dans le format et dans le fond qui complique ou empêche :

- la compréhension pour un nouveau salarié ou un sous-traitant,
- le calcul de l'indice de fauchage tardif pour la DIPE.

◆ Exploration des plans de fauchage existants

A partir des versions de plans de fauchage nous pouvons relever différents types d'entretien :

- Fauchage 1 fois par an
- Fauchage 1 à 2 fois par an
- Fauchage régulier selon besoin
- Tonte
- Tonte intensive

2. Etude du plan schématique d'entretien souhaité par le service environnement du Groupe :

Sur chaque aire d'autoroute, il y a différentes zones d'espace vert que le Groupe souhaite entretenir de manière différente.

Un type d'entretien des espaces verts joint à la politique traduit schématiquement les attendus de la politique :

Zone	Objectif d'entretien	Pratique d'entretien
Zone boisée d'accueil du public	Maintenir le chemine piéton, conserver le caractère naturel.	Pas de fauchage des sous-bois prairie rustique : 1 fauche début d'été pour matérialiser les cheminements
Espace détente périphérique	Limiter l'accès par une tonte marquée.	pelouse rustique : 1 tonte max par 15 jours à une hauteur 12 cm d'Avril à Sept
Zone boisée non fréquentée par le public	Dissuader l'accès au piéton.	Laisser densifier
Surlargeurs, délaissés	Dissuader l'accès au piéton, maintenir visibilité des panneau et accès aux zones techniques.	Prairie : fauchage en automne, pas systématique, friche boisée : laisser densifier pour dissuader l'accès
Cordon de séparation et espaces non circulés	Dissuader l'accès au piéton, maintenir visibilité des panneau et accès aux zones techniques.	prairie : 1 à 2 fauches par an, à une hauteur de 12 cm.
Cœur de l'aire de repos	Usage des aires de jeu et tables pique-niques, praticabilité des cheminement et accès aux services.	pelouse d'agrément : 1 tonte par semaine max, hauteur 7 cm

Tableau 2: Point des entretiens attendus par le Groupe. Source : Politique espaces verts APRR

L'objet de ma mission consiste à établir une méthodologie cartographique pour transcrire ces principes de politique espaces verts grâce à une analyse de modulation intra-parcellaire :

B) Méthodologie

1. Etablir les définitions des zones

◆ Création d'une typologie de zones d'espaces verts

Dans le plan schématique vu ci-dessus, les entretiens sont différenciés selon l'espace vert à considérer. Pour cela, il est indispensable de clarifier les différentes zones qu'on retrouve sur toutes aires de services ou de repos.

A l'issue des séances de travail avec la responsable de la performance environnementale et quelques chefs de district et responsables d'activités, nous avons retenu la typologie suivante :

- Accompagnement des voies
- Zone humide (bassin)
- Accompagnement des bâtiments
- Espace naturel aménagé accueillant du public
- Zone boisée d'accueil du public
- Zone boisée non fréquentée par le public

◆ Création de classe d'entretien des espaces verts

Après avoir créé cette typologie de zones d'espace vert, nous avons associé un type d'entretien à chaque zone dans le respect de la politique Groupe. Les classes d'entretien sont pensées comme suit :

- **Entretien spécifique** : entretien adapté selon le cas. C'est le cas des espaces verts d'accompagnement des bâtiments et des bassins.
- **Tonte de sécurité** : qui sera une tonte intensive d'avril à août inclus pour assurer la visibilité à l'entrée et sortie des aires, le long des voies ainsi que les ronds-points sur les aires. Ce type d'entretien est réservé aux espaces verts d'accompagnement des voies et espace naturel aménagé accueillant du public.
- **Fauchage** : Une fauche début d'été pour matérialiser les cheminements. Ce type d'entretien est largement utilisé en périphérie des aires.
- **Non-traitement** : Dans les délaissés et zones non ouvertes au public, et sans zone technique. L'objectif est de laisser la végétation densifiée pour dissuader l'accès au public et préserver les habitats et animaux.

Ayant à présent les classes d'entretien, nous allons passer à l'application.

2. Cartographie du plan de fauchage sur les aires d'autoroutes

L'étape suivante consiste à utiliser la modulation intra-parcellaire pour adapter l'entretien selon à la typologie des zones.

◆ L'approche cartographique choisie : Modulation intra-parcellaire

Pratique utilisée en agriculture pour doser au plus juste les intrants sur les parcelles dans un but économique et environnemental. La modulation intra-parcellaire est une étape majeure de l'agriculture de précision. Elle est définie comme l'application au champ de conseils basés sur des cartes d'hétérogénéités de la parcelle pour adapter les opérations culturales [6].

Inspirer de cette application, j'ai décidé d'utiliser cette base d'hétérogénéités de la parcelle pour l'adapter à la gestion des espaces verts. Cette méthode consiste à réaliser une carte de modulation qui permet d'identifier les zones selon leur spécificité.

Pour juger de l'efficacité de cette méthodologie de traitement qui me semble bien adaptée pour être notre cas, nous avons choisi des sites tests pour la diversité de leurs espaces verts. Ces sites sont l'aire de repos du Rossignol et le couple d'aires de service Beaune Tailly et Merceuil. Les plans de fauchage actuel de ces aires sont en annexe (cf Annexe 3).

Nous avons effectué le choix dans la région Rhône après visite terrain. Les visites ont eu lieu le 31 mai 2021, certaines aires sont déjà fauchées pour l'été comme les 2 aires qu'on a retenu.

- Aire du Rossignol

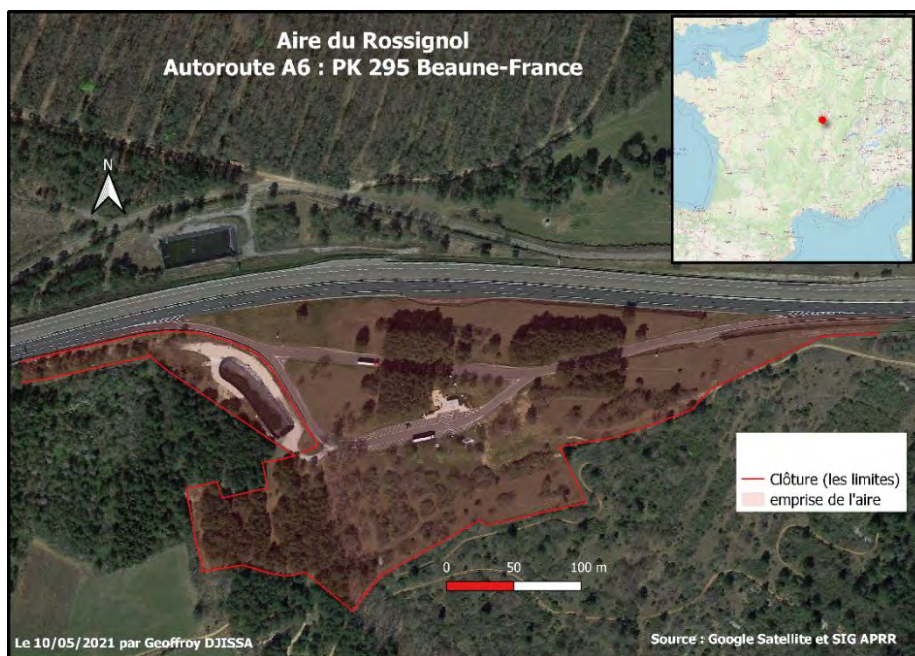


Figure 3 : Présentation de l'aire du Rossignol

L'aire du Rossignol est située au niveau du point kilométrique 295 de l'autoroute A6 dans la région Bourgogne Franche Comté, direction Auxerre - Beaune. Elle est une aire de repos de 6 ha de superficie dont plus de 80% en espaces verts. Le cœur de l'aire occupe moins de 2 ha, il

est aménagé d'un édicule, de places de parking, d'espaces de pique-nique et de détente. La partie sud de l'aire est une zone fortement boisée avec des cheminements accessibles au public. La partie opposée est majoritairement couverte de végétation herbacée sauf les zones imperméables. Toutes les zones étaient bien entretenues avant la visite. Le cœur de l'aire était tondu, l'entrée et la sortie bien dégagées et le cheminement dans les bois bien tracé.

- Le couple d'aires Tailly-Merceuil

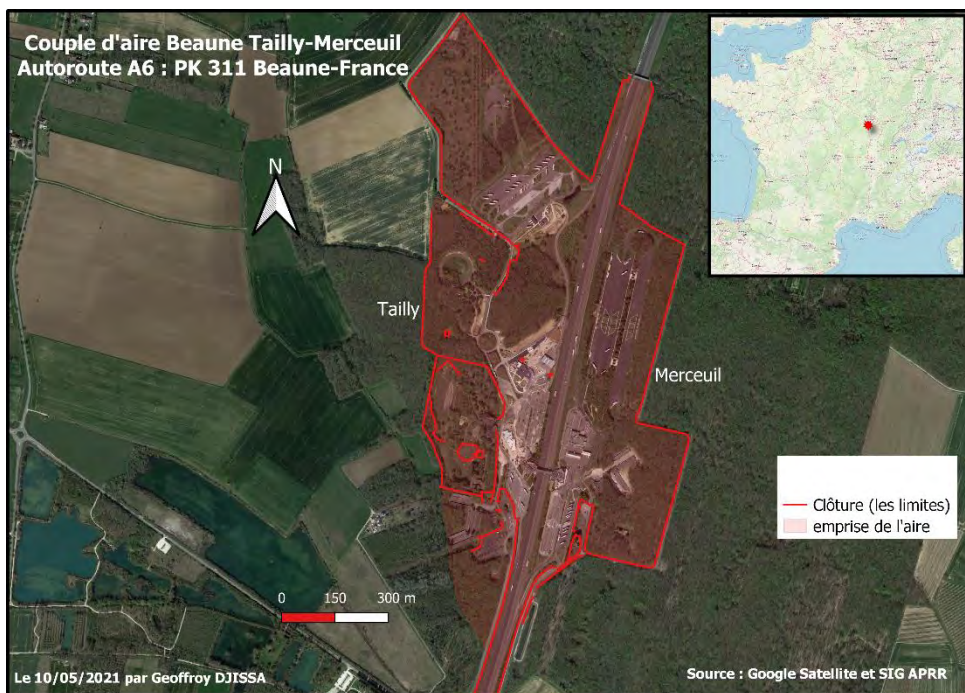


Figure 4: Présentation du couple d'aires Beauce Tailly-Merceuil

Le couple d'aires Beauce Tailly et Beauce Merceuil a été retenu non seulement pour l'entretien des zones qui est à jour, mais aussi par sa taille importante qui la classe dans les plus grandes aires d'autoroute de France. Ce couple d'aires se situe sur l'autoroute A6 au point kilométrique 311 dans la région Bourgogne Franche Comté et s'étend sur une superficie de 90.5 ha. Contrairement à l'aire de repos du Rossignol, le cœur de l'aire est fortement aménagé. Sur le couple d'aires, il y a plusieurs parkings pour véhicules légers et poids lourds, des sanitaires, des espaces de jeux et de pique-nique, des stations de carburant, des magasins, des restaurants et un hôtel sur chaque aire. Malgré la présence de toute ces services, les espaces verts occupent la grande partie de l'emprise du couple d'aires et ont des caractéristiques variées. A la différence de l'aire du Rossignol, il y a une zone importante de non traitement présente sur le couple d'aires.

Ces choix ont été validés avec la responsable de la performance environnementale du Groupe et l'équipe d'entretien du district de Beauce, en raison de la bonne gestion différenciée des espaces verts sur ces aires et de leur diversité paysagère. Cette diversité est nécessaire pour valider l'efficacité de la méthode utilisée pour réaliser les plans de fauchage.

◆ Application

Je vais à présent détailler étape par étape la réalisation des cartes de modulations que j'ai réalisées ainsi que le diagramme de flux retraçant l'application sur l'aire du Rossignol.

Pour cartographier ces aires, j'ai utilisé des couches shp ligne (clôture) marquant leurs limites. Ces couches shp ont été extraites de la base patrimoine consultable dans le Système d'Information Géographique (SIG) du Groupe et ceci à l'aide de l'outil AutoCAD.

Comme photo actuelle j'ai aussi besoin d'une couche qui pourra renseigner l'état actuel de l'aire. Pour cela, j'ai opté pour les images satellitaires sentinel-2 du 01/06/2021 sur Copernicus. Cette date m'a permis d'avoir l'image au plus près de la visite terrain puisque la visite a eu lieu la veille de la prise photo pour éviter les biais d'interprétation. Pour le téléchargement des images, je le fais avec l'extension *Semi-Automatic Classification* de QGIS.

- Etape 1 : Création de l'emprise de l'aire

Pour bien définir l'espace sur lequel le traitement sera appliqué, j'ai importé la couche clôture shp de l'aire dans QGIS et dessiné une couche polygone ayant comme limite la clôture et la section courante. Cette nouvelle couche polygone est dessinée à l'aide de l'outil *'ajouter une couche polygone'* et représente l'emprise de l'aire à traiter. (cf : figures 3 et 4).

- Etape 2 : Extraction des bandes 4 et 8 de l'image satellitaire couvrant l'aire

Cette étape consiste à télécharger l'image satellitaire couvrant le polygone. J'ai fait le téléchargement directement sous QGIS avec l'extension *'Semi Automatic Classification'* en me connectant à mon compte Copernicus. Dans la procédure du téléchargement, on a accès à toutes les bandes de l'image, 13 au total et il faut choisir uniquement la bande 4 (B04) et la bande 8 (B08) qui nous servira à calculer l'indice NDVI (Indice de végétation par différence normalisée). Pour la sélection des bandes on a l'environnement ci-dessous :

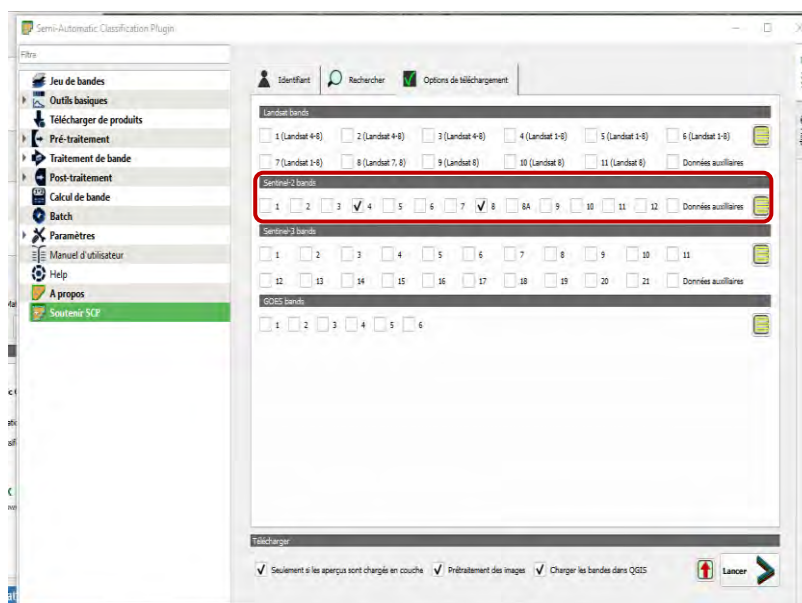


Figure 5: Interface de sélection des bandes avec l'extension « Semi Automatic Classification »

Les bandes 4 et 8 sont respectivement le rouge et l'infrarouge d'une image issue du sentinel-2 comme l'indique le tableau ci-dessous publié sur le site ResearchGate [7].

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (µm)	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

Figure 6 : Caractéristiques des bandes spectrales de sentinel-2. Source : ResearchGate

- **Etape 3** : Création de 2 rasters (bande 4 et 8) de l'emprise du polygone

Avec l'outil "découper un raster selon l'emprise", j'ai coupé les 2 bandes de l'image selon l'emprise du polygone pour être sûr de travailler avec des rasters bien délimités sur ma zone d'étude. Les 2 bandes de chaque aire sont en annexes (cf Annexe 3).

- **Etape 4** : Calculer le NDVI de l'emprise de l'aire

L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) se calcule avec l'outil "calculatrice raster" sous QGIS par la formule $(B08 - B04) / (B08 + B04)$. Cet indice permet de bien différencier les types de surface. Le résultat obtenu est une couche raster. Dans le cas présent, on a des rasters avec la taille des pixels égale à 10m (NDVI_10m).

J'ai appliqué une symbologie arbitraire « pseudo-couleur à bande unique » de 5 classes sur la couche raster pour améliorer le rendu visuel.

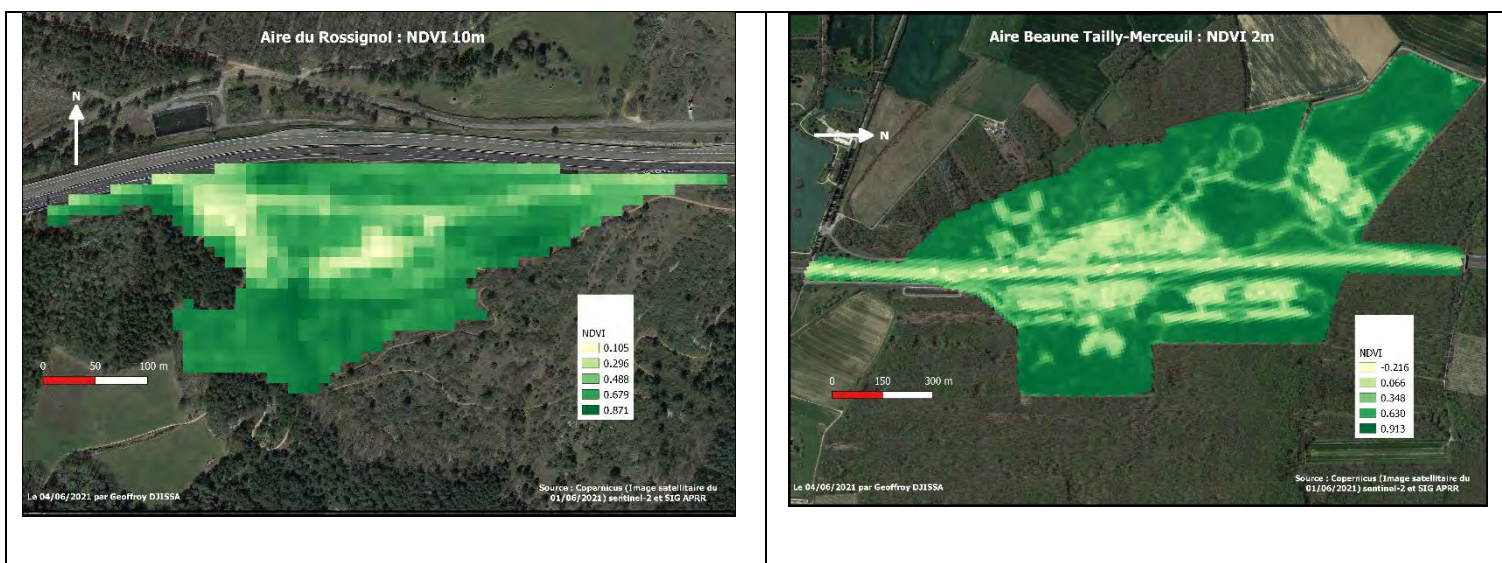


Figure 7: Cartes d'NDVI des aires avec 10m de taille des pixels

- **Etape 5** : Convertir le NDVI calculé à un NDVI de 2m

Il s'agit d'utiliser l'outil *'projection warp'* pour réduire la taille des pixels de 10m à 2m. Les valeurs du NDVI sont des données continues, il convient donc de choisir *'cubique'* comme méthode de ré-échantillonnage. Elle permet d'avoir en sortie un raster moins déformé géométriquement que le raster obtenu en exécutant l'algorithme de ré-échantillonnage du voisin le plus proche.

Comme la résolution spatiale d'une image est la taille de la zone couverte par un pixel, alors une résolution plus fine permet de distinguer les objets de petite taille. Passer de 10m à 2m permet de distinguer les éléments du polygone par des carrés de 2m de côté au lieu de 10m. A cette taille, la résolution est assez fine pour une bonne précision des types de zones car la typologie des espaces verts ne varie pas au m² près.

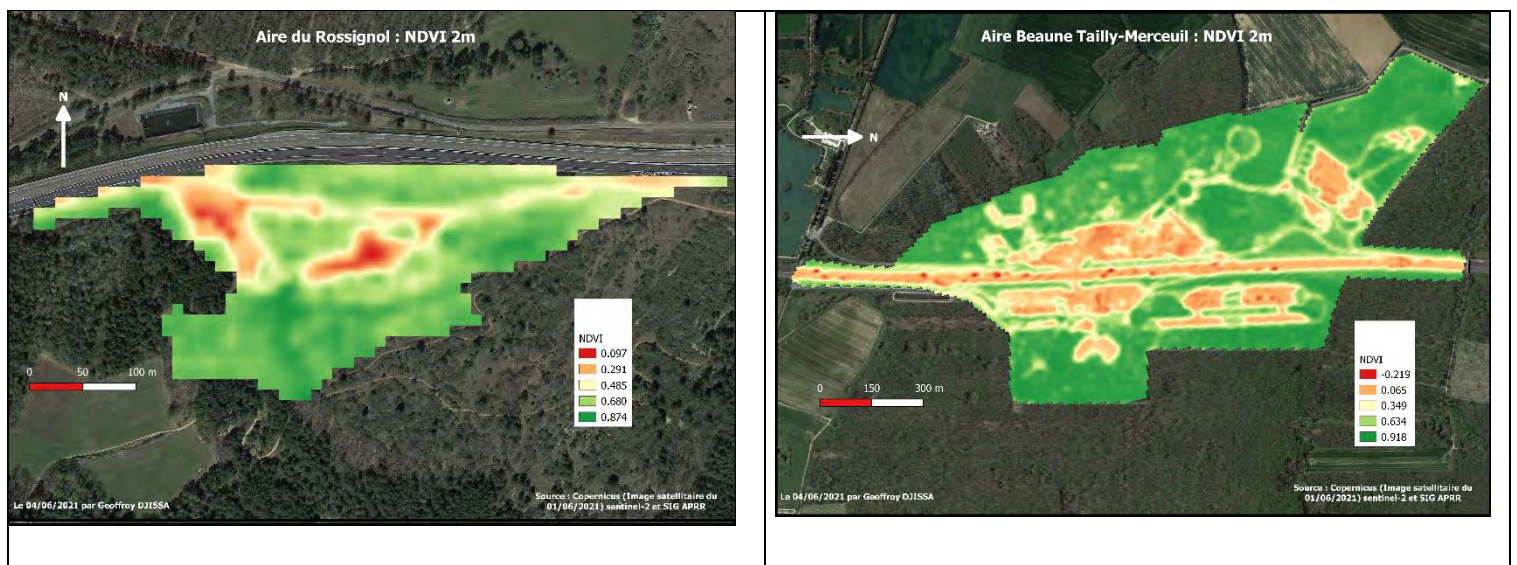


Figure 8: Cartes d'NDVI des aires avec 2m de taille de pixel

- **Etape 6** : Transformer les pixels en points

A présent il s'agit d'utiliser l'outil *'Raster values to points'* pour transformer les pixels en points. On obtient un nuage de points permettant d'identifier et de reclasser les typologies. C'est une méthode qui facilite la classification au sol, les bâtiments et tout autre type de classification courant ainsi que pour filtrer et éditer les données selon les besoins.

Pour créer ce nuage de points, mettre la couche NDVI_2m en entrée, choisir en option [1] Cells pour le type et obtenir une couche shp en sortie.

Les cartes en sortie sont en annexes (cf Annexe 4).

- **Etape 7** : Affecter un type d'entretien à chaque valeur d'NDVI

Cette étape est la dernière et elle consiste à affecter un numéro de type d'entretien à chaque valeur du NDVI. Comme l'indice NDVI nous permet d'identifier les différentes zones, il est possible d'affecter l'entretien adéquat à chaque zone.

Dans le cas des 2 aires d'autoroute de ce travail, l'affectation s'est faite comme suit :

- | | | |
|----------------------------------|---|-------------------------|
| 1- Classe d'entretien spécifique | → | $NDVI < 0.39$ |
| 2- Classe de tonte de sécurité | → | $0.39 \leq NDVI < 0.56$ |
| 3- Classe de fauchage | → | $0.56 \leq NDVI < 0.71$ |
| 4- Classe de non-traitement | → | $NDVI \geq 0.71$ |

Pour appliquer cette affectation, j'ai utilisé l'outil '*calculatrice de champ*' en créant un nouveau champs avec la formule suivante :

if(NDVI<0.39,1,if(NDVI<0.56,2,if(NDVI<0.71,3,4))). Ensuite, j'ai Regroupé et catégorisé par le numéro du type de traitement pour avoir la carte de modulation.

Les cartes de modulation obtenues sont présentées et commentées dans la partie résultat.

- **Diagramme de flux**

- **Légende :**

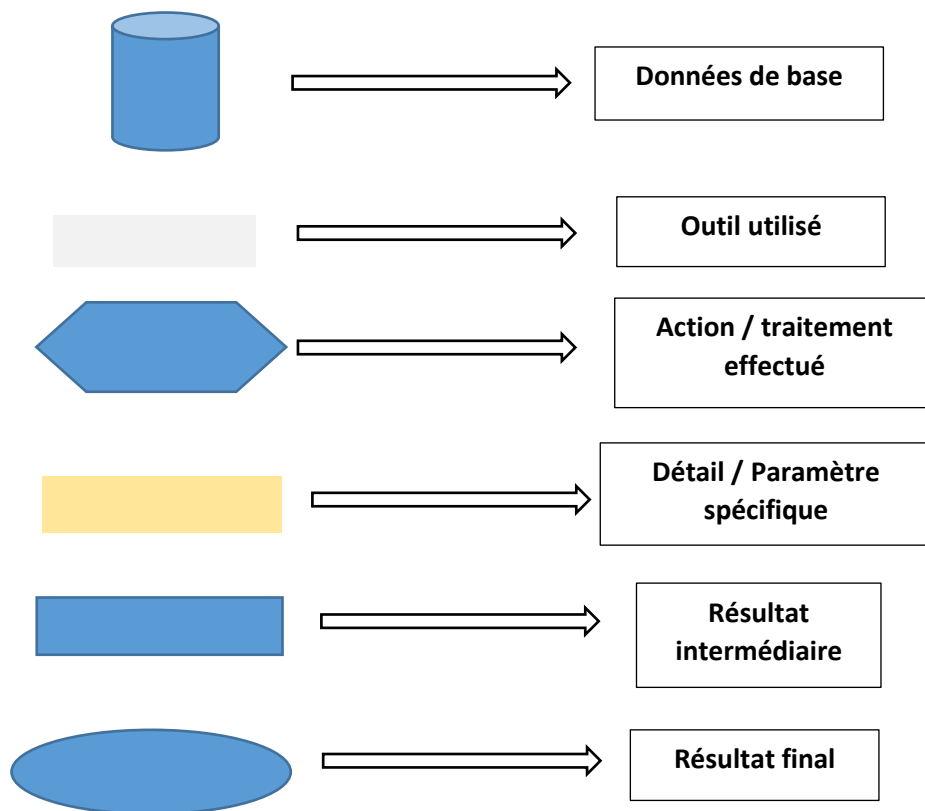


Figure 9: Légende du diagramme de flux

Diagramme de flux : Carte de modulation de l'aire du Rossignol

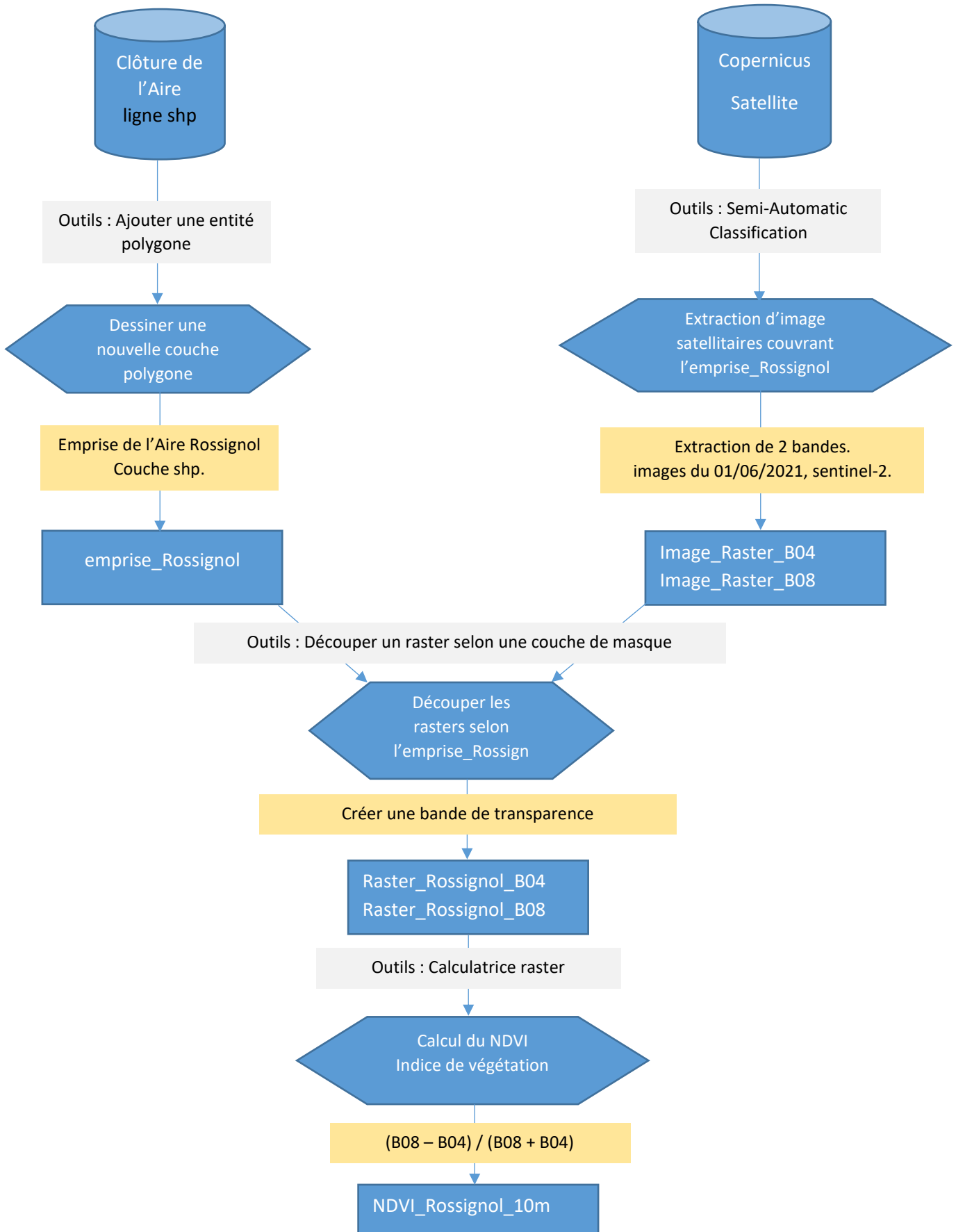


Figure 10: Diagramme de flux



Figure 11: Diagramme de flux, suite

◆ Résultat

Avant de présenter les résultats obtenus, nous allons répondre à la question du choix des intervalles pour les classes de traitement.

• La notion du NDVI

L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), indicateur de la biomasse photosynthétiquement active, est utilisé ici pour permettre de distinguer les surfaces imperméables correspondant aux voiries et zone piétonnières, et de la végétation dense.

Les résultats du calcul du NDVI vont de -1 à 1.

- Les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages, pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge.
- Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0.
- Les formations végétales quant à elles ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7.
- Les valeurs les plus élevées correspondent aux couverts les plus denses.

• Choix d'intervalle

Comment j'ai procédé pour établir l'intervalle ?

1- Classe d'entretien spécifique	—————>	NDVI < 0.39
2- Classe de tonte de sécurité	—————>	0.39 <= NDVI < 0.56
3- Classe de fauchage	—————>	0.56 <= NDVI < 0.71
4- Classe de non-traitement	—————>	NDVI >= 0.71

Les valeurs du NDVI obtenues pour l'aire du Rossignol varient entre 0.097 et 0.874 et celles du couple d'aires Beaune Tailly-Merceuil varient entre -0.22 et 0.92.

Théoriquement pour la notion du NDVI, l'intervalle couvrant les bassins et les sols nus est compris -1 à 0.1. Ici, notre première classe qui est celle du traitement spécifique regroupe et sol imperméable et végétations basses situées le long des bâtiments et le bord des bassins. C'est pourquoi j'ai décidé d'élargir un peu l'intervalle. La valeur 0.39 n'est pas arbitraire. Des tests ont été réalisés et nous ont rassuré qu'à ce niveau nous avons la majeure partie des zones qu'on aimerait entretenir de façon spécifique. Certes, nous n'avons pas la totalité des zones, mais nous ne pouvions pas aller trop loin dans la fixation de l'intervalle, sinon la logique serait faussée. Les quelques erreurs nous ont permis de relever des questions sur les limites de la méthodologie.

L'intervalle supérieur à 0.71 qui délimite la zone 4 (zone de non-traitement) est fidèle à l'indice NDVI. En plus, il donne un résultat très satisfaisant. Il couvre en effet de manière presque exhaustive la zone de végétation dense des aires. La photo satellitaire utilisée est celle du

01/06/2021. J'étais sur le terrain le 31/05/2021 et je trouve très satisfaisant la traduction terrain de la zone détectée en végétation dense.

Les zones intermédiaires 2 et 3 qui sont respectivement celles de tonte de sécurité et de fauchage, sont les plus compliquées à délimiter en intervalle car la différence tient plus à l'usage de la zone qu'à la variété de la végétation. Elles ont donc été définies de façon arbitraire pour identifier une variation de densité au niveau de la végétation. Plus l'indice NDVI tend vers 1 plus on a une forte densité de la végétation. L'intervalle intermédiaire a été conçu à peu près au milieu des valeurs possibles -1 et 1 sans empiétés sur la classe 4.

Les zones sont numérotées de 1 à 4 sur la légende de la carte :

- 1 : Une classe d'entretien spécifique
- 2 : Une classe de tonte de sécurité
- 3 : Une classe de fauchage
- 4 : Une classe de non-traitement

- **Cas de l'aire du Rossignol :**

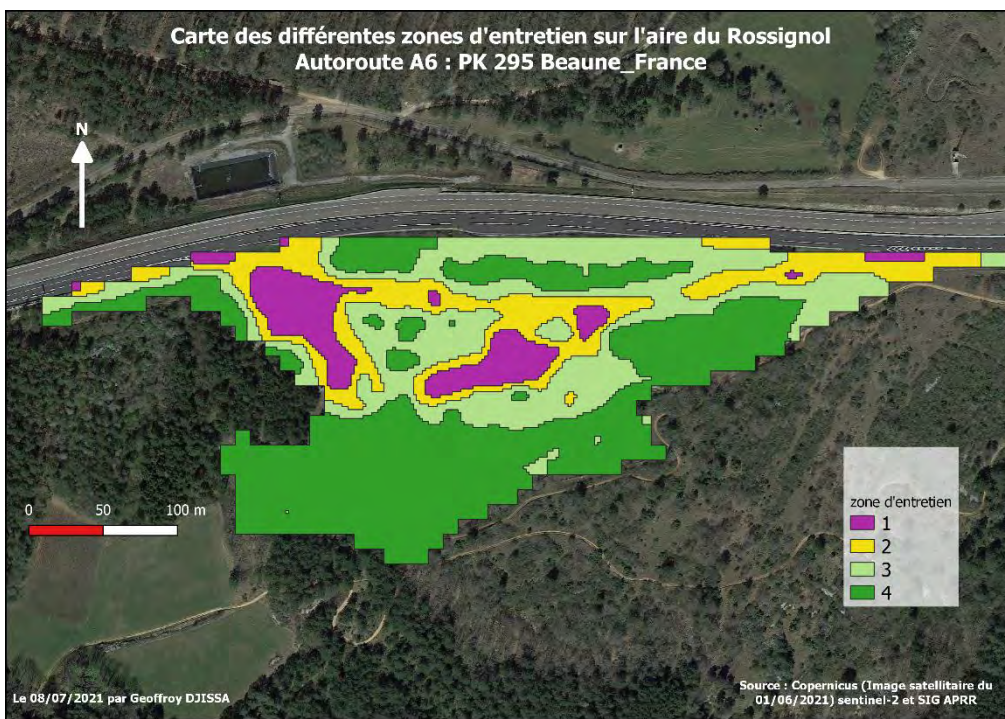


Figure 12: Carte des zones d'entretien sur l'aire du Rossignol travaillées sur les intervalles NDVI

La carte de modulation affiche bien les 4 zones d'entretien, avec quelques points d'insuffisance toutefois. Pour apprécier ou non la précision des résultats par rapport à nos attentes, nous allons la comparer à la carte d'emprise de l'aire.



Figure 13: Emprise de l'aire du Rossignol

- Quels résultats peut-on obtenir de cette comparaison ?

- Le bassin est bien identifié dans la zone 1 dite d'entretien spécifique. Les zones non perméables (les voies, parkings) et les sols nus n'ont pas été bien détectés dans ce cas d'application. Malgré le fait que l'intervalle défini à cet effet est bien large, nous n'avons pas obtenu l'exhaustivité de l'emprise attendue pour ce type de surface à cause des ombres portées par les arbres.
- Les zones 2 et 3 ne sont pas parfaitement détectées. Toutefois, le résultat est plus satisfaisant que le cas précédent. Les quelques erreurs sont liées à des recouvrements partiels car les limites NDVI sont difficiles à établir.
- La zone 4 dite de non-traitement est celle où la végétation est supposée dense. Cette zone a été bien identifiée et le résultat est très satisfaisant comme exposé dans la partie choix d'intervalle.

Nous pouvons supposer que si les intervalles définis pour les zones 1 et 2 étaient un peu plus larges, le résultat serait mieux. Mais techniquement l'erreur pourrait aussi venir de la photo satellitaire utilisée. Nous avons des ombres ou des végétations denses qui cachent la vue au sol. Ces biais sont inévitables. On le constate d'ailleurs sur l'emprise de l'aire (figure 13). Les zones encadrées sur la figure constituent les grandes parties d'erreurs constatées sur la carte de modulation de l'aire du Rossignol.

Nous allons à présent faire le même exercice sur le couple d'aires Beaune Tailly-Merceuil pour comparer les résultats cartographiques.

- **Couple d'aires de service Beaune Tailly-Merceuil**

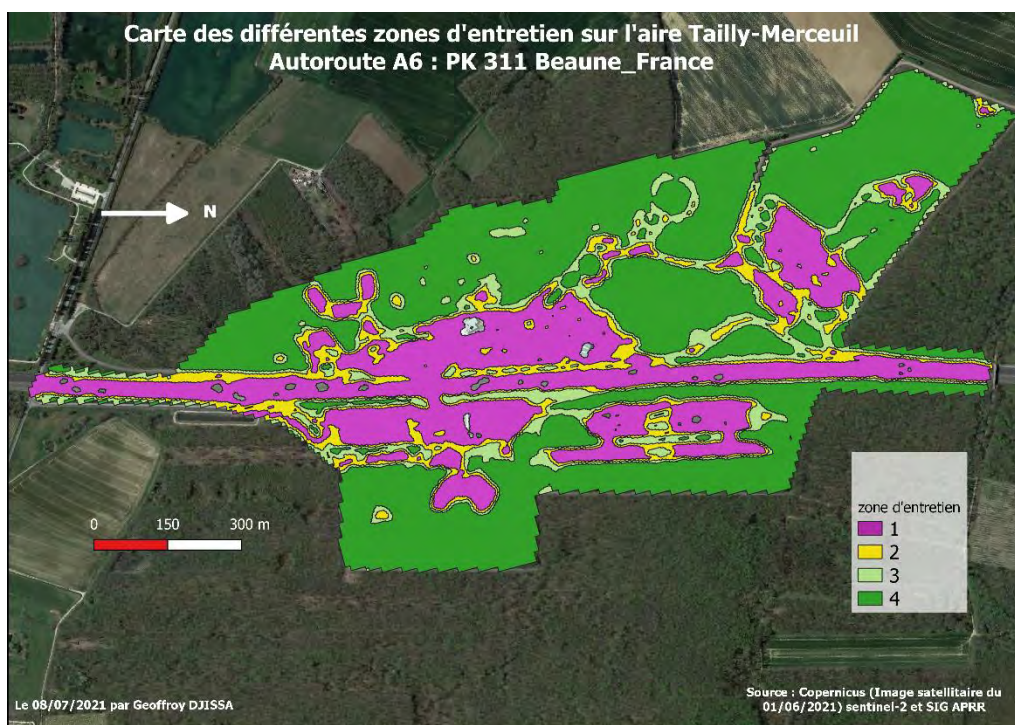


Figure 14: Carte des zones d'entretien du couple d'aires de Beaune Tailly et Merceuil travaillées sur les intervalles NDVI

Cette carte de modulation du couple d'aires Beaune Tailly et Beaune Merceuil satisfait beaucoup mieux nos attentes. Pour faciliter la lecture de ce résultat, un zoom sur l'emprise du couple d'aires est présenté ci-dessous.



Figure 15: Emprise du couple d'aires Beaune Tailly-Merceuil

- Quels sont les constats ?

- La zone 1 qui est celle dédiée à l'entretien spécifique couvre bien les voies, les parkings et les bâtiments. Son emprise est plus grande que celle de la zone 2 et 3 parce qu'il s'agit d'une aire de service dont la caractéristique est d'être plus artificialisée (parkings, grands bâtiments, nombreuses voiries) qu'une aire de repos. En juxtaposant ce résultat à la carte de l'aire, on peut noter quelques débordements de cette zone d'entretien spécifique sur la zone 2, ce qui crée une discontinuité des couches de la zone 2 dite de fauchage de sécurité.
- La zone 3 n'est pas très visible. C'est un résultat qui est cohérent avec la réalité. Sur cette aire comme sur la plupart des aires de services il n'y a pas souvent d'espace boisée accessible au public. Une grande partie de l'emprise obtenue en zone 3 sur la carte de modulation présente des erreurs de précisions. Ces erreurs sont probablement causées par la photo satellitaire. On peut le distinguer au niveau des parties encadrées sur la carte d'emprise de l'aire correspondent aux endroits qui ne sont pas très bien dégagés.
- La zone 4 est largement majoritaire sur le couple d'aires. Cette zone de non-traitement est très bien identifiée sur la carte de modulation.

Malgré des résultats satisfaisants sur les 2 cartes de modulations, j'ai constaté quelques erreurs de précision. Le résultat n'est pas parfait, mais il nous permet d'avancer dans la mise en place des plans de fauchage pour le Groupe. Nous avons déjà une maquette de carte de modulation qui permet d'identifier les 4 zones d'entretien sur une aire.

La question est de savoir si ce résultat est suffisant pour établir en masse les plans de fauchage ?

Pour répondre objectivement à cette interrogation, il faut trouver les réponses aux questions suivantes :

- Est-ce que la carte de modulation servira de modèle de plan de fauchage ou faudra-t-il la retravailler systématiquement ?
- Faut-il passer les 7 étapes à chaque construction d'une carte de modulation ?
- N'y a-t-il pas une autre méthode de cartographie qui pourrait répondre plus efficacement à cette question de gestion opérationnelle ?

Un début de réflexion sur ces interrogations est exposé dans la partie perspective.

◆ Les indicateurs

Les espaces verts sont entretenus en régie ou confiés à des prestataires. Pour connaître les leviers d'optimisation d'entretien, le Groupe a besoin d'avoir des références chiffrées. Les indicateurs de la gestion des espaces verts permettront aux responsables d'activité de décider du matériel, de la fréquence et du temps d'entretien de chaque zone.

Les différentes zones et le type d'entretien à effectuer sont connus sur les cartes de modulation (les plans de fauchage), ils sont des indicateurs favorables au choix du matériel et la détermination de la fréquence d'entretien. Corrélé avec le type d'entretien et la surface, le temps d'entretien est important pour l'organisation et la gestion du personnel interne. Le type d'entretien et la surface à entretenir sont des données dont les prestataires ont également besoin pour établir leurs devis.

Les indicateurs dont on a besoin pour optimiser la gestion des espaces sont :

- La nature de la zone : caractérisée par les classes 1, 2, 3 ou 4, elle est fournie par la carte de modulation (le plan de fauchage) ;
- Le type d'entretien : lié à chaque zone, il est connu grâce au plan de fauchage ;
- La fréquence d'entretien : elle dépend directement du type d'entretien, donc du plan de fauchage ;
- La surface de chaque zone : la méthode utilisée ici pour la réalisation des plans de fauchage permet de calculer la surface de chaque zone ;
- Le temps d'entretien : cet indicateur se construit en fonction du type d'entretien et de la surface à travers des ratios publiés par la profession espace vert.

En somme, tous les indicateurs sont connus à partir du plan de fauchage sauf l'indicateur temps propre à chaque entreprise. Dans ce rapport, je présente le tableau des indicateurs des 2 aires tests hormis le temps. Ce dernier sera construit avec les acteurs internes du Groupe qui travaillent sur la gestion des espaces verts, les responsables d'activités et la responsable de la performance environnementale. Ce travail en aval des plans de fauchage sera le résultat des expériences internes et des études existantes.

Une étude conduite par Plante & Cité de 2015 à 2018 éclaire sur des ratios horaires en fonction de la nature de l'intervention et les matériels mobilisés à chaque intervention. 45 collectivités et entreprises du paysage ont participé à cette étude technico-économique sur les itinéraires techniques et les temps de travaux de tonte et de fauche [8]. Le résultat de cette étude est une piste de travail pour la construction de l'indicateur temps.

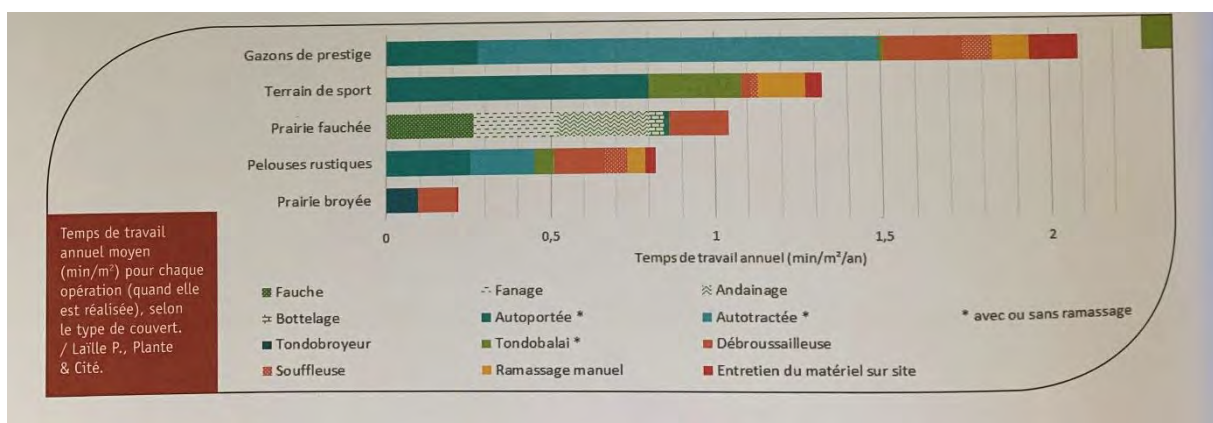


Figure 16 : graphique des ratios horaires établi par Plante & Cité

- Le tableau des indicateurs

Les tableaux des indicateurs serviront à construire le tableau de bord de suivi des espaces verts. Le tableau de bord regroupera les informations liées à toute intervention d'entretien telles que : l'aire entretenue, la date, la zone entretenue, le type d'entretien, la surface entretenue lors de l'intervention, le temps, le matériel, etc.... Ces informations serviront de base pour le calcul de l'indicateur de fauchage tardif.

- Aire du Rossignol :

Zone	Type d'entretien	Fréquence d'entretien	Surface en ha	Temps
Zone 1	Spécifique	Adaptée	0,6	
Zone 2	Tonte	2 à 3 fois par mois	1,1	
Zone 3	Fauche	1 à 2 fois par an	1,8	
Zone 4	Aucun	Aucune	2,3	

Tableau 3: Tableau des indicateurs, aire du Rossignol

- Couple d'aires Beaune Tailly-Merceuil

Zone	Type d'entretien	Fréquence d'entretien	Surface en ha	Temps
Zone 1	Spécifique	Adaptée	23	
Zone 2	Tonte	2 à 3 fois par mois	9,5	
Zone 3	Fauche	1 à 2 fois par an	10,5	
Zone 4	Aucun	Aucune	47,5	

Tableau 4: Tableau des indicateurs, couple d'aires Beaune Tailly-Merceuil

◆ Perspectives

- Est-ce que la carte de modulation servira de modèle de plan de fauchage ou faudra-t-il la retravailler ?

Le plan de fauchage est tout d'abord un guide d'entretien des espaces verts pour les agents sur le terrain. Ce sont les agents qui vont l'utiliser, c'est donc à eux de dire si éventuellement il est nécessaire de l'affiner. Ils maîtrisent bien les délimitations, et savent comment s'adapter et corriger les erreurs de précisions de la carte sur le terrain. Pour cela il faudra mettre les cartes à disposition des agents et leur demander les corrections de limites.

Les responsables d'activité ont aussi besoin de la carte pour organiser les campagnes d'entretien. Les carte de modulation permettent aussi de répondre à un besoin majeur qui est le reporting du stock carbone pour le bilan carbone d'APRR.

Une réflexion est en cours avec le chef service données patrimoines qui s'occupe du système d'information géographique du Groupe afin de pouvoir mettre les nouveaux plans de fauchage, donc le résultat final de ce projet sur le SIG du Groupe.

- Faut-il passer les 7 étapes à chaque construction d'une carte de modulation ?

Passer les 7 étapes à chaque réalisation de carte de modulation sera très chronophage et est inenvisageable pour près de 300 aires. L'idée est d'élaborer un programme python qui sera en mesure de produire les cartes de modulation. Le programme recevra en entrée les bandes 4 et 8 de l'image satellitaire de l'emprise de l'aire concernée et sortira la carte de modulation.

J'ai commencé la réflexion sur l'élaboration du script, mais par défaut d'outil je n'ai pas pu avancer. Le Groupe est en phase exploratoire du langage python et l'exploite uniquement dans le cadre des projets Big Data pour la manipulation de données en masse sur les plateformes Big Data.

Actuellement en contrat au sein du Groupe en tant que Technicien Infrastructure et Environnement, ce projet est entièrement inclus dans mes missions. Je vais travailler sur ce point une fois le langage sera accessible.

- N'y a-t-il pas autre méthode de cartographie qui pourrait répondre plus efficacement à cette question de gestion opérationnelle ?

La modulation intra-parcellaire est la méthode dont l'objectif correspond le mieux aux résultats attendus sur un plan de fauchage. Elle permet d'identifier les zones à caractéristiques similaires sur une parcelle définie. Je trouve qu'elle est bien adaptée à la demande.

Je pense à la méthode de classification dont l'objectif est de faire la correspondance entre les classes spectrales et les classes d'informations. Je n'ai pas encore testé cette méthode parce qu'il est rare qu'une correspondance directe soit possible entre ces deux types de classes. Des classes spectrales bien définies peuvent apparaître parfois sans qu'elles correspondent nécessairement à des classes d'information intéressantes pour l'analyse. Des sous-classes spectrales peuvent être causées par des variations dans l'âge, l'espèce, la densité des arbres ou simplement par les effets d'ombrage ou des variations dans l'illumination. Et tous ces détails ne sont pas nécessaires pour les classes d'entretien de ce projet.

CONCLUSION

A travers son engagement de percevoir les espaces verts comme un patrimoine à préserver, le Groupe APRR inscrit dans sa politique de gestion des espaces un nouveau référentiel de pratiques en fonction de l'usage et non simplement basé sur l'esthétisme. Ayant plus de 10 000 hectares de dépendance verte sur son réseau, l'enjeu est de faire cohabiter les écosystèmes et le public tout en préservant la faune, la flore et en offrant un espace de détente agréable aux clients. Face à ce besoin, le Groupe adopte la politique d'entretien différenciée des espaces verts dont l'intérêt est de contrôler le développement de la végétation tout en maintenant une diversité paysagère, une diversité d'essences et en luttant contre les espèces exotiques envahissantes.

Le but de mon stage est de produire un modèle cartographique d'aide à la gestion différenciée des espaces verts sur les aires d'autoroute du Groupe et d'harmoniser les plans de fauchage qui sont tous différents aujourd'hui et compliqués à interpréter. Ma mission a consisté à tester la technique de modulation intra-parcellaire qui s'utilise pour l'agriculture de précision afin d'établir une typologie des zones d'entretien, cartographier les zones et construire un tableau des indicateurs.

Au total, 4 classes d'entretien ont été définies : une zone d'entretien spécifique, une zone de tonte, une zone de fauchage et une zone de non traitement. Cette typologie résulte de la documentation sur l'entretien des espaces verts, de la politique espaces verts du Groupe, des visites terrain et de travail en groupe avec les acteurs qui interviennent dans la gestion des espaces verts au sein d'APRR.

Les premières cartographies ont été réalisées sur 2 aires de l'autoroute A6 : une aire de repos de 6 ha (Aire du Rossignol) et un couple d'aires de service de 90 ha (Aire de Beaune Tailly-Merceuil). Les cartes de modulation obtenues satisfont les attentes des responsables d'activité : elles permettent d'identifier les limites et la surface des différentes zones d'entretien. Le résultat obtenu va servir à :

- Produire le Bilan Carbone d'APRR,
- Réaliser les entretiens différenciés par les agents,
- Organiser les campagnes d'entretien par les managers,
- Suivre les indicateurs de la gestion des espaces verts.

Le niveau de précision des cartes de modulations est suffisant étant donné que la méthodologie Bilan Carbone traite de très grandes unités fonctionnelles.

BILAN PERSONNEL

Ce stage au sein du Groupe APRR a été très instructif. En matière d'expérience professionnelle, il m'a permis de pousser loin mes réflexions et capacités analytiques à travers les missions et me donne une meilleure compréhension de la bonne gestion des espaces verts. Aussi, j'ai acquis une maîtrise de la gestion de mon temps de travail, une bonne organisation de mes activités. J'ai appris en matière d'échange, de travail d'équipe et de présentation de rapport d'activité.

En termes de savoir-faire, j'ai pu approfondir mes connaissances et acquis géomatiques à travers l'utilisation de différents outils et techniques géomatiques comme Qgis et les notions de la Télédétection. J'ai acquis aussi de nouvelles connaissances théoriques comme pratiques en ce qui concerne la modulation intra-parcellaire, un regard critique de ces techniques qui se combinent avec des observations terrain. Déjà stagiaire par deux fois au sein d'APRR, mon intégration a été rapide. Cela a rendu moins difficile la collecte des données, les échanges avec le personnel adéquat et la compréhension du besoin opérationnel.

En termes de savoir-être, j'ai pu observer le fonctionnement du Groupe APRR et appréhender les problématiques environnementales nombreuses. Au-delà de l'activité de chacun des services, j'ai pu apprendre comment s'articulent les différents départements d'une grande entreprise. Par ailleurs, les relations humaines entre les différents employés de la société, indépendamment de l'activité exercée par chacun d'eux, m'ont appris sur le comportement à avoir en toutes circonstances. L'atmosphère au sein de la société est très conviviale et au travers de cette convivialité, j'ai pu comprendre que l'activité d'une société est plus performante dans une atmosphère chaleureuse et bienveillante.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] écologique, Ministère de la transition, «Artificialisation des sols,» 2021. [En ligne]. Available: <https://www.ecologie.gouv.fr/artificialisation-des-sols>. [Accès le Avril 2021].
- [2] Natural Solutions, «Comment gérer les espaces verts en gestion différenciée,» [En ligne]. Available: <https://www.natural-solutions.eu/blog/gestion-differenciee>. [Accès le Avril 2021].
- [3] Au Jardin, «La gestion différenciée,» [En ligne]. Available: <https://www.aujardin.info/fiches/gestion-differenciee.php>. [Accès le Avril 2021].
- [4] F. LUCAS, «La mise en place de la gestion différenciée des espaces verts de la ville de Chalon-sur-saône,» 2013.
- [5] APRR, DIPE, «Politique espaces verts,» 2020.
- [6] numérique, Observatoire des usages de l'agriculture, «Usage de la modulation interparcellaire,» 2018.
- [7] P. Taconet, «ResearchGate,» 2019. [En ligne]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Caracteristiques-des-bandes-spectrales-de-Sentinel-2_fig4_337649764. [Accès le Mai 2021].
- [8] Plante & Cité, «Questionner l'évaluation : pour des stratégies et des actions favorables à la nature en ville.,» 2019.

SITES INTRANET DU GROUPE :

APRR, Groupe APRR : Organigramme en ligne. Disponible sur : <https://intranet.aprr.fr/OrgaTrombi/Organigrammes.pdf> (consulté / Avril 2021)

APRR, Groupe APRR : historique en ligne. Disponible sur : <https://intranet.aprr.fr/Pages/Historique.aspx> (consulté / Avril 2021)

APRR, Groupe APRR : Profil et activité en ligne. Disponible sur : <https://intranet.aprr.fr/Pages/Groupe.aspx> (consulté / Avril 2021)

APRR, Groupe APRR : Portail d'information sur les projets passés et en cours en environnement au sein du Groupe en ligne. Disponible sur : https://intradir.aprr.fr/sites/dex_aprr/Pages/PortailEnvironnement.aspx
(Consulté toutes les semaines)

APRR/AREA, Carte Réseau en ligne : disponible sur :

https://intradir.aprr.fr/sites/dircom/Zbra1/ZEBRA39_Poster%20réseaux%20APRR-AREA.pdf#search=carte%20des%20r%C3%A9seaux (consulté / Avril 2021)

APRR, Groupe APRR : Présentation du Groupe et les réseaux en ligne. Disponible sur :
<https://intradir.aprr.fr/sites/dircom/ComGenerale/4%20-%20Présentation%20Groupe/Présentation%20du%20Groupe%20APRR.pdf>

<https://intradir.aprr.fr/sites/dircom/Comm%20Interne/2%20-%20Editions%20internes/Memento/memento%202019.pdf>
(Consulté / Avril 2021)

APRR, Groupe APRR : Points activité et définition des objectifs en ligne. Disponible
[https://intradir.aprr.fr/sites/dex_aprr/Environnement/ISO 14001/CEDEX 15 juin 2018/revue CEDEX 150618.pptx](https://intradir.aprr.fr/sites/dex_aprr/Environnement/ISO%2014001/CEDEX%2015%20juin%202018/revue%20CEDEX%20150618.pptx)

[https://intradir.aprr.fr/sites/dex_aprr/Environnement/ISO 14001/CEDEX 15 juin 2018/résumé CEDEX_actions engagées.pptx](https://intradir.aprr.fr/sites/dex_aprr/Environnement/ISO%2014001/CEDEX%2015%20juin%202018/resume%20CEDEX_actions_engagees.pptx)

[https://intradir.aprr.fr/sites/dex_aprr/Environnement/ISO 14001/CEDEX 18 sept 2017/revue CEDEX v180917.pptx](https://intradir.aprr.fr/sites/dex_aprr/Environnement/ISO%2014001/CEDEX%2018%20sept%202017/revue%20CEDEX%20v180917.pptx)

[https://intradir.aprr.fr/sites/dex_aprr/Environnement/ISO 14001/CEDEX 18 sept 2017/CEDEX X focus énergie v180917.pptx](https://intradir.aprr.fr/sites/dex_aprr/Environnement/ISO%2014001/CEDEX%2018%20sept%202017/CEDEX%20X%20focus%20energie%20v180917.pptx)