



Rapport de stage Centrale Digital Lab

Entreprise Kiriola

Fouquet Axel

3 mai 2021- 28 août 2021



Résumé :

Ce document présente la mission de stage de 4 mois que j'ai effectuée chez Kiriola, en donnant du contexte sur l'entreprise et sur le projet global dans lequel mon stage s'inscrit. Il contient également une analyse de différents points de ce stage : organisation du travail au sein de l'entreprise, méthodes utilisées pour résoudre les problématiques posées, résultats finaux obtenus, ... Du fait du contexte de la pandémie, j'ai également porté un point particulier sur le télétravail et comment il a influencé la manière de travailler dans cette entreprise.

La mission est un problème d'optimisation sous contraintes : on cherche à optimiser les revenus qu'un propriétaire des parcelles forestières peut obtenir. Ce stage est la suite directe du travail de 4 étudiants de 3^{ème} année de Centrale Lyon (Baptiste Desarnauts, Théo Malka-Lacombe, Maxime Peter et Julien Verdun) qui ont travaillé lors d'un projet avec Kiriola en début d'année 2021.

Abstract :

This document presents the mission of the 4 months internship I did in Kiriola, by giving context on the company as well as on the more global project my internship take part of. It also contains an analysis of various topics of this internship: organization of the management inside the company, methods used to solve the problems I was given, final results obtained ... Because of the context of the pandemic, I also specifically focus on the telework and how it has influenced the way people work in this company.

The mission I had was a constrained optimization: we want to optimize the income that an owner of forest plots can obtain. This internship is the direct following of the work of four 3rd students in Centrale Lyon (Baptiste Desarnauts, Théo Malka-Lacombe, Maxime Peter et Julien Verdun) who worked on a project with Kiriola in early 2021.

Sommaire :

Introduction.....	4
Partie I : Contexte du stage et organisation de l'entreprise.....	5
1 : Description de l'entreprise Kiriola.....	5
2 : Organisation du travail et management.....	5
3 : Le télétravail chez Kiriola.....	6
4 : Analyse de l'organisation du travail.....	7
Partie II : Présentation et analyse de la mission réalisée.....	9
1 : Description de la mission de stage.....	9
2 : Travail des élèves de 3 ^{ème} année de Centrale Lyon.....	11
3 : Découverte de la mission et début du stage.....	14
4 : Problématique principale et changement de solveur.....	16
5 : Résultats finaux obtenus.....	17
6 : Perspectives d'améliorations.....	18
Partie III : Les apports du stage Centrale Digital Lab pour mon cursus et mon projet professionnel.....	20
1 : Les projets du Centrale Digital Lab.....	20
2 : Le stage chez Kiriola.....	20
Conclusion.....	22
Bibliographie.....	23
Table des figures.....	23

Introduction :

Le Centrale Digital Lab est une formation d'un an gérée par l'école Centrale de Lyon destinée principalement aux élèves ingénieurs en césure ou bien dans l'année qui suit l'obtention de leur diplôme, afin de leur permettre de se spécialiser dans l'informatique et d'obtenir un diplôme d'établissement de l'École Centrale de Lyon. La formation se déroule en 3 parties : 1 mois de cours théorique et pratiques en informatique dans des domaines variés (IA, développement web, réseau de neurones, ...), puis 3 projets de 7 semaines par groupe de 4 à 5 étudiants avec des entreprises de tailles diverses et des missions variées, et enfin un stage de 4 à 5 mois dans une entreprise d'informatique afin de valider la formation.

J'ai choisi d'effectuer mon stage chez Kiriola, pour une mission d'optimisation des revenus que l'on peut obtenir en tant que propriétaire d'une exploitation forestière.

Ce rapport se divise en 3 parties : je vais dans un premier temps présenter l'entreprise Kiriola ainsi que l'organisation du travail dans cette entreprise. Dans un second temps, je vais décrire la mission de stage qui m'a été donnée et analyser les résultats obtenus. Enfin, je montrerai comment ce stage a influencé mon projet professionnel et ce qu'il m'a apporté par rapport à cette année au Centrale Digital Lab.

Partie I : Contexte du stage et organisation de l'entreprise

1 : Description de l'entreprise Kiriola

Kiriola est une agence digitale spécialisée dans la création de sites web pour d'autres entreprises. En travaillant avec des partenaires dans des domaines variés, Kiriola a notamment réalisé des sites e-commerce (multilabo.com pour la commande de matériel pour des labos de recherche,), des sites institutionnels pour le service public (museemusee.com pour les informations sur les musées/expositions en France, lespetitslions.fr pour les crèches en région Rhône-Alpes) ou bien encore des sites internes métier ou de R&D (<https://www.kiriola.fr/nos-realisations/secteur-4/grdf-pyramide-37> , Interface d'administration des données des entreprises et de suivi marketing pour GRDF). Kiriola se sert de son site vitrine ([kiriola.fr](https://www.kiriola.fr)) pour montrer ses différentes réalisations et attirer de nouveaux clients. C'est une start-up de moins de 5 employés.

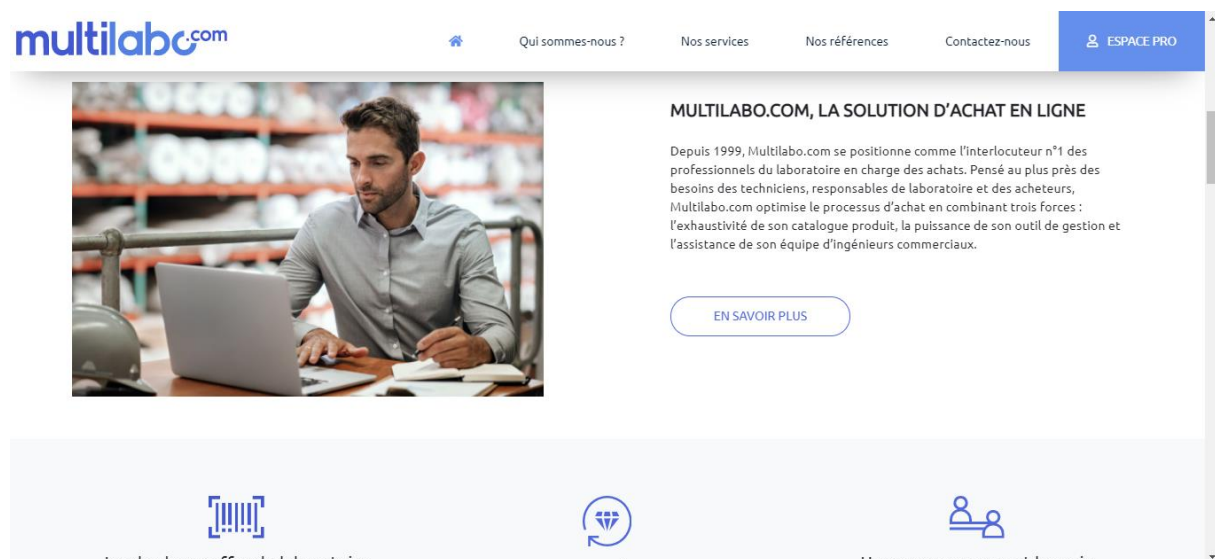


Figure 1 : exemple du site web multilabo.com

2 : Organisation du travail et management

Le travail est organisé par projet autour de ces sites web : chaque site nécessite un échange en amont pour bien comprendre le besoin du client, puis le développement du site web s'effectue en travail en mode agile avec des réunions régulières entre Kiriola et ses clients pour valider les prototypes et fixer les priorités suivantes.

J'ai notamment travaillé avec 3 personnes chez Kiriola : le dirigeant Charles de Rambuteau qui s'occupe notamment du management des différents projets, de l'organisation des réunions avec les clients et de la partie administrative, et deux développeurs web Pablo Gabolde et Mickaël Lortet, qui s'occupent de la création/modification des sites web ainsi que de la communication des avancées des sites web avec les clients. Mon maitre de stage était Charles de Rambuteau.

Le travail à Kiriola, pour Pablo et Mickaël comme pour moi, s'effectue de manière très autonome. Une fois par semaine, on organisait une réunion de 1 à 2 h entre Charles et moi dans laquelle je lui présentais l'avancée de mon travail et les différents problèmes que j'ai pu rencontrer, puis on choisissait la direction à prendre sur la suite du projet. Occasionnellement, Mickaël participait également à ces réunions car c'est lui qui s'occupe du site web concerné par ma mission (optimisation d'exploitation forestière).

De leurs côtés, Pablo et Mickaël fonctionnent d'une manière similaire : la plupart du temps, ils travaillent sur le développement/la maintenance de leurs sites web respectifs (chacun s'occupait de clients donc de sites web différents), et des réunions avec Charles de Rambuteau étaient organisées de manière hebdomadaire pour valider les nouvelles modifications des sites web et décider des prochaines priorités. Ils ont également pour mission de répondre aux mails/ appels téléphoniques des clients qui pourraient avoir des problèmes avec leur site web et donc de faire la maintenance de ces sites.

De plus, des réunions entre Kiriola et ses clients (souvent des experts métiers) sont également organisées afin de leur présenter les prototypes des sites web et de vérifier qu'ils respectent leurs attentes. J'ai eu l'occasion de participer à une de ces réunions avec un propriétaire d'une exploitation forestière au début de mon stage, ce qui m'a permis de mieux appréhender l'objectif final de ma mission et de bien cerner le besoin client final.

3 : Le télétravail chez Kiriola

Comme pour le reste de l'organisation du travail chez Kiriola, Charles de Rambuteau laisse beaucoup de libertés à ses employés. En dehors des jours où une réunion est prévue, on est libre de rester télétravailler chez nous ou bien de venir travailler au bureau.

Pour ma part, je suis resté en télétravail 4 jours par semaine durant tout mon stage car cela m'évitait des transports en commun et était plus simple pour organiser mon temps pendant la journée. Mickaël par exemple venait tous les jours au bureau, mais uniquement les après-midis à partir de 13-14h, et restait en télétravail les matins.

Une journée classique ressemblait donc à cela : début à 9h30, pause d'une heure le temps de midi, et fin à 17h30.

Je n'ai pas eu beaucoup de difficultés à m'organiser pour le télétravail puisque j'avais déjà travaillé pendant une bonne partie de l'année du Centrale Digital Lab depuis chez moi et j'ai donc déjà pris certaines habitudes.

Pour la communication avec mon maitre de stage, nous échangeons régulièrement des mails pour l'organisation des réunions et sur l'avancée du travail. Je pouvais également le contacter sur Microsoft Teams ou bien par téléphone, ce qui ne posait aucun problème en cas d'information importante à communiquer.

Pour conclure, je dirai que le fait d'avoir télétravaillé a peu impacté mon expérience de stage puisque je travaillais de manière très autonome et c'est pourquoi j'ai choisi de continuer le télétravail même après la fin du confinement du printemps 2021.

4 : Analyse de l'organisation du travail

J'ai beaucoup apprécié l'autonomie et la confiance que donne Charles de Rambuteau à ses employés. Ce qui compte pour lui, c'est que le travail soit fait et qu'on ait toujours des choses intéressantes à montrer pendant les réunions, qui permettent d'avancer sur le projet. Le reste du temps, c'est à nous de nous organiser sur les priorités que l'on se fixe et sur le travail à faire. Cela m'a permis d'explorer beaucoup de possibilités sur la mission que j'avais, et de tester différentes approches pour améliorer les résultats obtenus.

Cependant, cela a aussi des défauts : cela nous demande de vraiment maîtriser l'outil que l'on utilise (pour moi python, pour Mickaël et Pablo le développement web) parce que Charles n'a pas les compétences techniques pour nous aider : on a chacun une position d'expert dans notre domaine. Cela m'a parfois posé un problème lorsque j'ai dû utiliser des bibliothèques pythons que je ne connaissais pas et donc prendre un certain temps pour les assimiler.

Un autre point qui m'a marqué est le manque de travail en équipe que j'ai eu à faire pendant ma mission. En comparaison avec les projets en groupe du Central Digital Lab ou bien de l'école Centrale de Lyon, où le travail collaboratif est nécessaire, j'ai travaillé de manière très individuelle pendant le stage. Cela a donc nécessité des compétences différentes pour ce stage (garder la motivation, savoir se débrouiller seul en cas de problème, ...) en comparaison de mes précédents projets.

Je dirai que le choix de management de Kiriola s'adapte très bien dans le cas d'une start-up, où chacun des employés maîtrise son domaine et peut utiliser ses connaissances pour apporter de la nouveauté dans le projet, et d'autant plus dans le secteur de l'informatique et du développement web. Dans le cas d'une entreprise de taille plus grande, ce type de management serait certainement plus dur à mettre en place de manière car le travail est plus divisé entre tous et il y a un plus grand besoin de se coordonner pour atteindre un objectif commun.

Partie II : Présentation et analyse de la mission réalisée

1 : Description de la mission de stage

Ma mission pour Kiriola concerne un site web particulier : celui destiné aux propriétaires de parcelles forestières. Je vais dans un premier temps expliquer le but de ce site web puis revenir sur le sujet de mon stage.

Le but de ce site web est d'offrir aux propriétaires de parcelles forestières un outil de gestion de leurs parcelles et de regrouper au même endroit toutes les infos nécessaires pour cela. En effet, une forêt est composée de plusieurs parcelles forestières (on peut faire un parallèle avec les parcelles cadastrales) et chaque parcelle est définie par plusieurs caractéristiques (lieu géographique, surface, type d'arbres, ...). De plus, pour chaque parcelle, il y a des nombreuses interventions à gérer tout au long de la pousse des arbres (plantation, coupe d'amélioration, coupe à blanc, ...). Les interventions étant souvent gérées par des sociétés spécialisées, elles nécessitent donc des contrats et doivent être prévues à l'avance.

Ce site web a donc pour objectif de centraliser toutes ces informations en un seul lieu et de manière efficace pour le propriétaire, et également d'éviter de dupliquer les mêmes documents (par exemple les contrats de travail de l'entreprise qui fait les interventions peuvent être enregistrés sur le profil utilisateur du propriétaire s'il fait toujours appel à la même entreprise). Le propriétaire peut également avoir accès à un certain nombre de récapitulatifs financiers sur les coûts et recettes des différentes interventions et faire des prévisions pour les années futures.

Ma mission s'inscrit dans cette volonté de prévision puisque Kiriola prévoit l'ajout d'un module d'optimisation et de simulation sur ce site, qui sera la suite directe de mon travail durant ce stage.

Le problème posé par Kiriola est un problème d'optimisation : on part d'une forêt de parcelles existantes, donc contenant des arbres d'âges divers (je vais supposer pour la suite que ce sont tous les mêmes types d'arbres, hypothèse que j'avais lors de mon stage). On va s'intéresser à 2 interventions particulières : la plantation et la coupe à blanc (c'est-à-dire la coupe complète de tous les arbres de la parcelle pour revendre le bois) et on ignore tous les interventions entre les 2. On suppose également que la plantation des nouveaux arbres s'effectue la même année que la coupe à blanc des précédents (on va travailler année par année). Un autre paramètre important est **l'âge de coupe à blanc (âge_cab)**, qui correspond

à l'âge auquel on va couper à blanc les arbres, et qui dépend notamment du type d'arbre et du marché (on va fixer l'âge qui permet les meilleurs rendements pour chaque type d'arbre).

On a donc accès à une pyramide des âges, qui correspond à la surface d'arbre planté par année et qui n'ont pas encore été coupé à blanc.

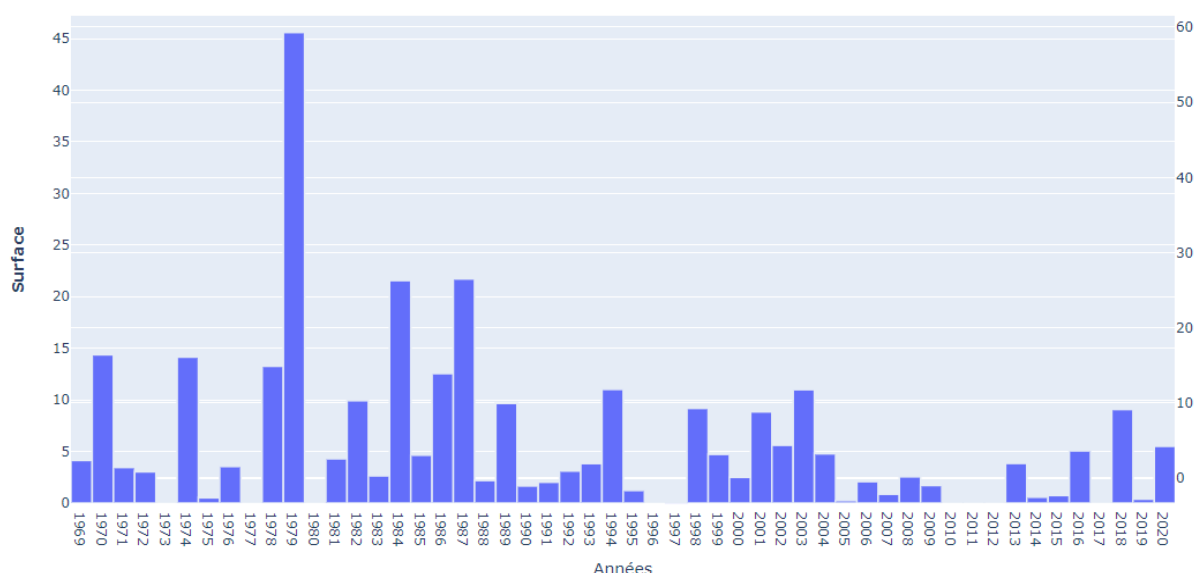


Figure 2 : exemple de pyramide des âges, avec la surface d'arbre planté par année en hectare

Il est important de comprendre que pour chaque année, la surface peut correspondre à plusieurs parcelles forestières différentes, donc à plusieurs interventions différentes. Si on se contente de couper tous les arbres à l'âge de coupe à blanc, alors on aura une répétition de cette pyramide des âges avec un cycle de durée de l'âge de coupe à blanc.

On peut remarquer que cette pyramide est très déséquilibrée : certaines années, on a coupé et planté beaucoup d'arbres, et d'autres années on n'a rien fait. Cela crée un déséquilibre dans les entrées d'argent pour le propriétaire. De plus, en cas de problème météorologique (feu/tempête) une année où l'on devait couper beaucoup d'arbres (par exemple ici juste avant 1979), il y a un risque de perdre beaucoup de revenus.

Ma mission était donc, à partir d'une pyramide des âges existante, de réussir à lisser cette pyramide dans les années futures afin de pérenniser les entrées d'argent.

La valeur vers laquelle on veut tendre correspond au **potentiel coupe à blanc**, qui est la surface totale disponible dans notre forêt divisée par l'âge de coupe à blanc (la durée de vie d'un arbre avant d'être coupé).

Pour atteindre cet objectif, on peut notamment jouer sur 2 leviers principaux :

- Avancer ou retarder d'un certain nombre d'années la coupe à blanc d'une parcelle donnée. Cela se traduit concrètement par la modification de la date prévue pour l'intervention de coupe à blanc. **Delta** correspond au nombre d'années maximum de décalage (retard ou avance), j'ai par exemple travaillé avec Delta entre 2 et 4.

Dans notre exemple figure 2, on aurait par exemple envie de retarder les coupes prévues en 1994 car il y en a très peu entre 1995 et 1997.

- Diviser une parcelle en plusieurs sous-parcelles distinctes qui auront donc chacune leur année de coupe à blanc et leur surface respectives. Chaque sous-parcelle devra tout de même conserver une surface minimum **surface_min** pour ne pas multiplier les interventions de manière inutile.

Dans notre exemple, si on imagine que l'année 1979 correspond à une seule parcelle, on aura certainement envie de la diviser en plusieurs sous-parcelles, et d'avancer/de retarder la coupe à blanc de certaines de ces sous-parcelles, afin d'éviter ce pic dans la pyramide.

2 : Travail des élèves de 3^{ème} année de Centrale Lyon

Pour cette mission, je ne suis pas parti de rien puisque j'ai repris le travail d'un projet de 4 élèves de 3^{ème} année de Centrale Lyon en option informatique, effectué au début de cette année. Ce projet avait la même mission et les mêmes problématiques que le mien.

Ce travail a débouché sur le développement de 2 modèles mathématiques différents appelés modèle 2 et modèle 3, qui présentent chacun des avantages et des inconvénients, puis sur un modèle combiné qui garde les avantages de chacun des 2.

Ces modèles ont été implémentés sur python en utilisant notamment la bibliothèque scipy (scipy.optimize.minimize). Les graphiques ont été créés grâce à la bibliothèque Plotly.

Modèle 2 :

Ce modèle va optimiser les parcelles forestières génération par génération (une génération correspond à âge_cab années de suite : si âge_cab=52 ans, la première génération va de 2021 à 2072). On part de la pyramide des âges de la génération précédente, et on calcule année par année la variance de la surface d'arbres coupée. De manière itérative, on va avancer/retarder des coupes et sous-diviser des parcelles de manière à réduire cette variance. Une fois un certain nombre d'itérations atteint, la pyramide des âges obtenue correspondra aux consignes de coupes des âge_cab prochaines années.

Les élèves avaient utilisé plusieurs algorithmes différents pour effectuer les itérations et optimiser la variance, j'ai choisi de retenir celui basé sur le recuit simulé, qui simule un procédé de métallurgie visant à réduire une température (dans notre cas, la température est fonction de notre variance à minimiser), car il donnait les meilleurs résultats.

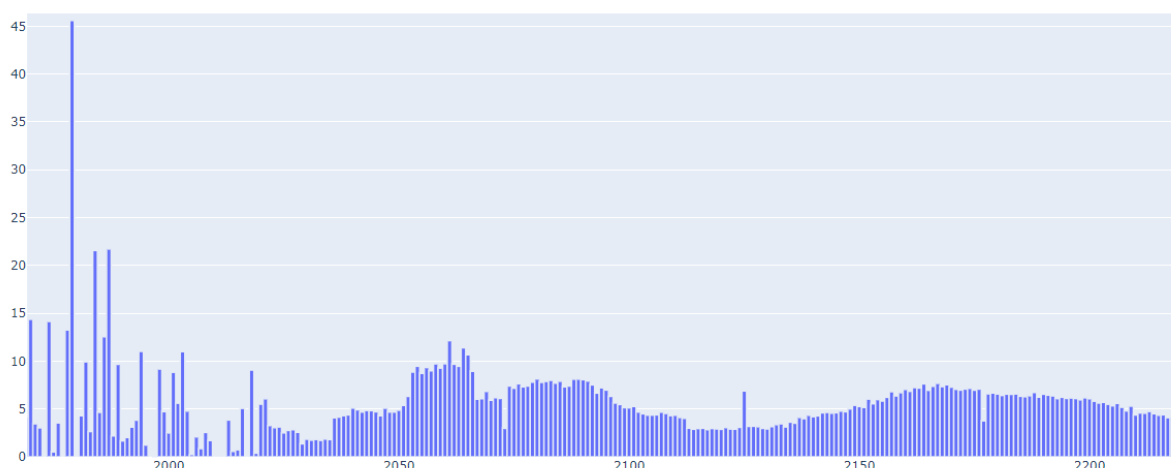


Figure 3 : exemple de résultat obtenu pour le modèle 2

On remarque que ce modèle gère très bien les pics (années où la surface est très élevée), mais il y a encore de grandes fluctuations dans les valeurs, il ne converge pas très bien vers le potentiel coupe à blanc. D'autre part, l'algorithme de recuit simulé n'est pas déterministe, ce qui donne de légères variations dans les résultats obtenus (on peut réduire ces variations en augmentant le nombre d'itérations de l'optimisation).

Modèle 3 :

Le modèle 3 va calculer année par année la surface d'arbre à couper en se basant sur les années les plus anciennes de notre pyramide de âges : dans le cas où Delta=2 et âge_cab=52, pour calculer la surface à couper en 2021, on va donc utiliser des arbres plantés entre 2021-

52-2=1967 et 2021-52+2=1971. Il n'y a plus de notion de cycle, on optimise sur le court terme. Pour calculer la surface que l'on va couper, on va minimiser la fonction suivante :

$$\sum_{i=50}^{54} y_i x_i - Moyenne$$

Avec :

- y_i : la surface d'arbres d'âge i
- x_i : la proportion de coupe d'arbre d'âge i (entre 0 et 1)
- Moyenne = potentiel cab

Et les contraintes suivantes :

- Fonction objectif à minimiser > 0
- $x_{54} = 1$ afin d'être sûr de ne pas avoir du bois de plus de 54 ans (dans le cas où $age_cab=52$ ans et $\Delta=2$).

Ensuite, on va décaler la pyramide des âges d'une année, en retirant pour les arbres les plus anciens la surface coupée correspondante, et en ajoutant pour la nouvelle année la surface replantée.

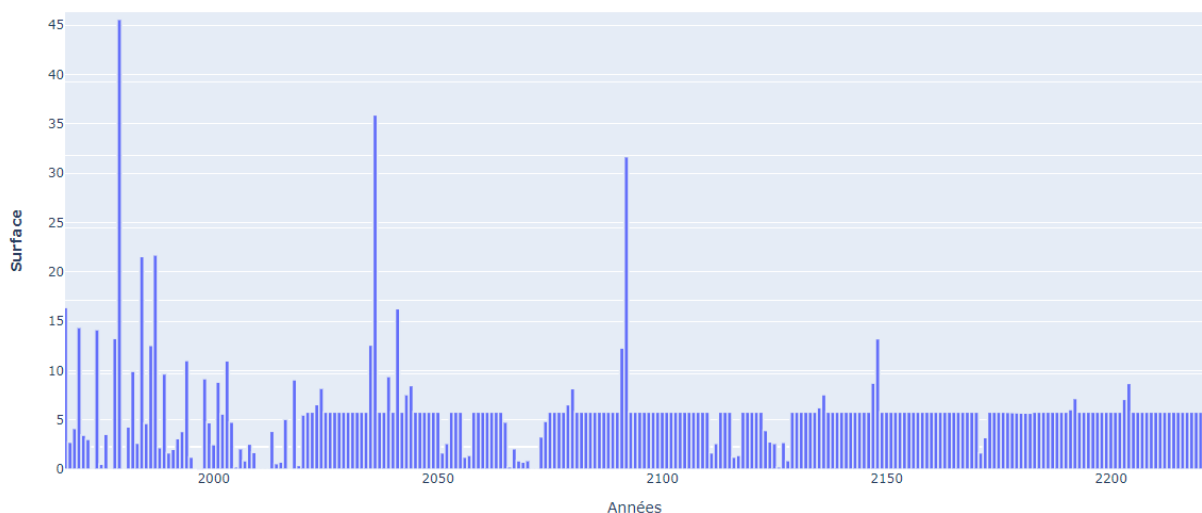


Figure 4 : exemple de résultat obtenu avec le modèle 3

On remarque que ce modèle gère beaucoup moins bien les pics : en effet, puisque l'on cherche à optimiser à court terme, année après année, le modèle gère mal les valeurs très élevées. Cependant, on converge très bien vers le potentiel cab. De plus, ce modèle est déterministe.

Modèle combiné :

Un choix logique qu'ont fait les étudiants de Centrale est donc de combiner les 2 modèles : on applique d'abord le modèle 2 sur la pyramide des âges existante sur 2 ou 3 générations, puis on utilise le modèle 3 pour converger vers le potentiel cab.

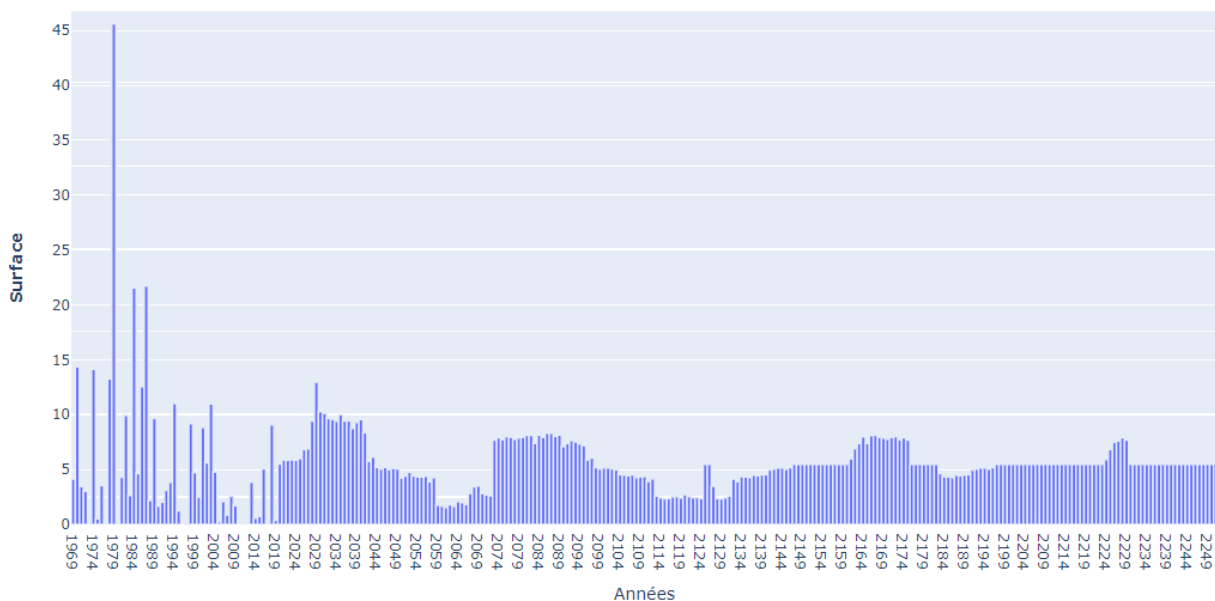


Figure 5 : exemple de modèle combiné (2 puis 3)

avec 2 générations pour le modèle 2 (2021->2124)

Ici, on retient les avantages de chaque modèle : on gère bien les pics grâce au modèle 2 puis on converge rapidement vers le potentiel coupe à blanc avec le modèle 3. C'est ce modèle qui a été le résultat final retenu et délivré par les élèves de Centrale Lyon.

3 : Découverte de la mission et début du stage

Le début de mon stage consistait d'abord à comprendre bien en détail le travail des 3^{èmes} années de Centrale, puisque jusqu'ici personne chez Kiriola n'avait repris leur travail : Charles de Rambuteau avait seulement lu les différents rapports et assisté à la soutenance finale du projet. Il y avait donc un gros travail de compréhension du code python à faire, puis à transmettre à mon maitre de stage, qui n'est pas informaticien et ne maîtrise pas python.

Ce travail d'analyse a logiquement mené à des pistes d'améliorations sur différentes problématiques : optimisation des paramètres des modèles, réflexion sur les contraintes des modèles, ...

De plus, j'ai également dû effectuer un certain nombre de corrections de code, ce qui m'a pris beaucoup de temps étant donné que ce n'était pas mon code, et également que les modèles 2 et 3 ont très certainement été codés par des élèves différents, ce qui a mené à des structures de code différentes.

Pour citer un exemple, les 2 modèles interdisent aux arbres d'avoir un âge supérieur à $\text{âge_cab} + \Delta$ (on coupe tous les arbres qui ont cet âge). Cependant, dans les données réelles de départ, il y a des arbres qui ont un âge supérieur à cette limite. Étant donné que les modèles ne peuvent pas en avoir, ils n'étaient simplement pas pris en compte.

Or dans un cas réel, on ne peut pas ignorer une partie des parcelles forestières parce qu'elles ne rentrent pas dans notre modèle. J'ai fait le choix de ne pas modifier la structure des modèles : il a donc fallu imaginer une stratégie qui permette de les introduire en amont de l'optimisation, sans modifier les modèles, et sans introduire de nouveaux déséquilibres dans la pyramide des âges de départ, ce qui réduirait l'efficacité des modèles. On peut voir les résultats obtenus grâce à cette stratégie en comparant les premières années de figures 6 et 7.

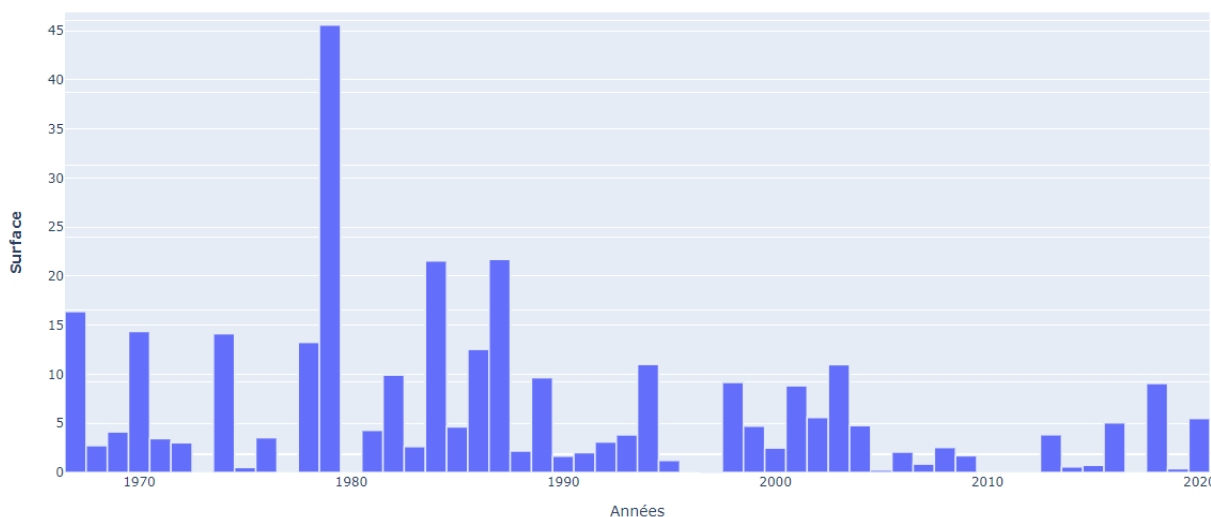


Figure 6 : Données initiales sans les arbres anciens ($\text{âge} > \text{âge_cab} + \Delta$)

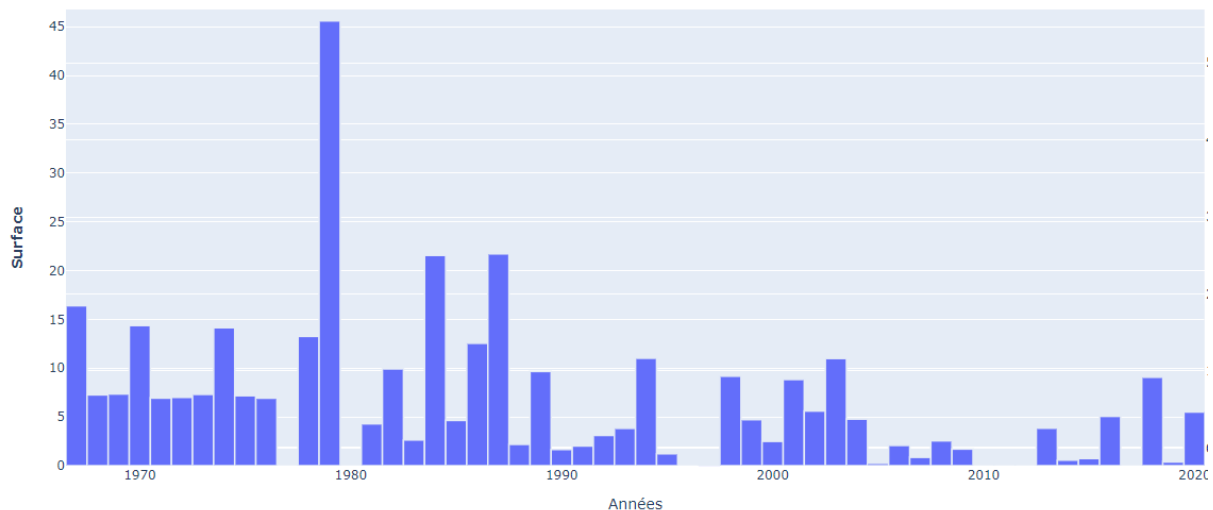


Figure 7 : Données initiales avec les arbres anciens ($\text{âge} > \text{âge_cab} + \Delta$)

Pour cette première partie du stage, j'ai donc surtout eu un objectif de compréhension et de communication, ainsi que de correction des divers problèmes dans le code du projet des centraliens.

4 : Problématique principale et changement de solveur

Dans cette partie, je vais expliquer la problématique principale que j'ai rencontrée pendant mon stage et comment j'ai fait pour essayer de la corriger.

Le modèle 3 actuel, bien qu'il semble converger vers notre objectif, a en fait un défaut majeur : une fois la pyramide des âges stabilisée, on continue de couper des arbres à un âge différent de l'âge de coupe à blanc.

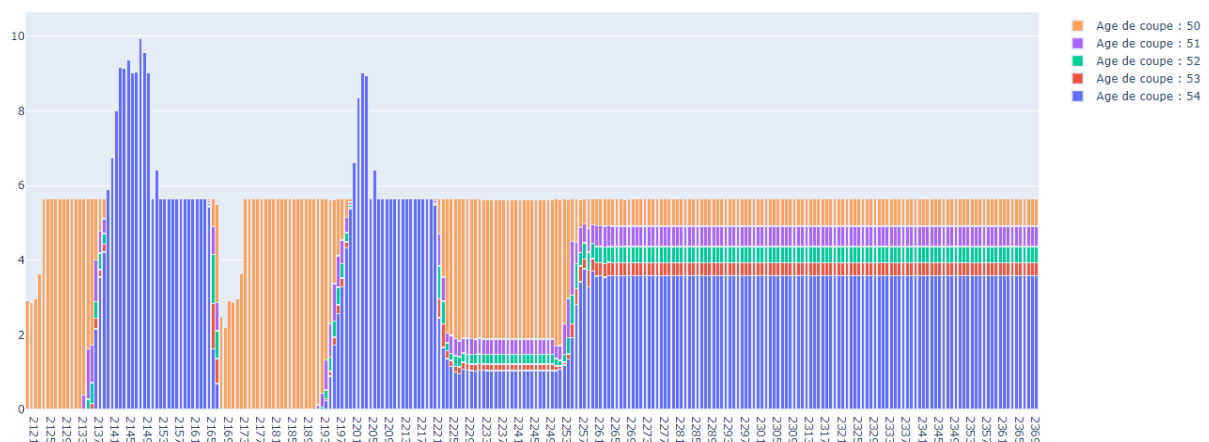


Figure 8 : exemple de distribution par âge de coupe pour le modèle combiné

Ce graphique décrit par un code couleur l'âge des différents arbres que l'on coupe. On peut voir qu'après 2250, la pyramide des âges est stable mais on coupe majoritairement des arbres qui ont 54 ans, ce qui veut dire qu'on continue à décaler les dates des interventions de coupe à blanc. C'est le problème principal que j'ai eu à résoudre pendant mon stage.

Pour résoudre cette problématique, j'ai donc choisi de modifier la fonction à minimiser dans le modèle 3 et d'opter pour une fonction quadratique par rapport aux surfaces à couper, pour favoriser à long terme la coupe d'arbres à l'âge de couper à blanc. Lors d'une réunion avec Alexandre Saidi, un professeur et chercheur de l'école Centrale de Lyon qui avait participé au projet des 3^{èmes} années de Centrale, il m'a expliqué qu'il pourrait être intéressant de changer de solveur (c'est-à-dire de changer la bibliothèque python qui fait l'optimisation) pour passer sur un solveur plus puissant et mieux adapté. J'ai donc choisi de partir sur la bibliothèque CVXOPT, qui propose plusieurs outils d'optimisation dont un outil pour minimiser les fonctions quadratiques.

Le fait de changer de solveur m'a permis de mieux appréhender les résultats obtenus par chacun des solveurs et également de comparer leurs facilités de prise en main/profondeurs. De mon point de vue, Scipy est plus intuitif mais reste très général (on peut utiliser beaucoup de type de fonctions avec la méthode minimize), là où CVXOPT est beaucoup plus spécifique et possède une méthode pour chaque type de fonction à minimiser (j'ai pu expérimenter avec au moins 2 différentes : solvers.lp pour les fonctions linéaires et solvers.qp pour les fonction quadratiques). Du fait de cette spécificité, préciser les contraintes de notre problème est plus simple avec CVXOPT lorsque l'on maîtrise la bibliothèque.

D'autre part, en changeant de solveur, j'ai également pu détecter une autre problématique que je n'avais pas soupçonner avec Scipy : pour le modèle 3, au bout d'un certain nombre d'années, l'optimisation devenait impossible. En fait, on ne pouvait plus satisfaire la contrainte « Fonction objectif à minimiser > 0 » car il n'y a pas assez de surface de forêt disponible à la coupe à cause des déséquilibres dans la pyramide des âges de départ. Scipy arrive à contourner et ignorer ce problème en interne (il ne renvoie pas d'erreur contrairement à CVXOPT) ce qui le rendait difficile à détecter. Changer de solveur peut donc également nous faire comprendre de nouvelles choses sur les contraintes de notre modèle, voir les remettre en question.

5 : Résultats finaux obtenus

Malheureusement, je n'ai pas réussi à corriger ce nouveau problème, et je n'ai donc pas pu exploiter CVXOPT pour améliorer la convergence du modèle 3. Néanmoins, en retravaillant les contraintes de départ, je pense qu'il est possible de le faire, mais j'ai manqué de temps

pour travailler là-dessus. Changer de solveur n'a tout de même pas été vain : cela a permis la détection d'une nouvelle problématique majeure et a ouvert de nouvelles réflexions sur les contraintes des modèles.

De plus, mon travail au sein de Kiriola va tout de même être très bénéfique pour l'entreprise : j'ai fait la liaison entre le projet des 3^{èmes} années de Centrale et l'objectif final du module d'optimisation sur le site web, j'ai corrigé un certain nombre de bugs dans le code de départ, j'ai apporté des améliorations significatives aux modèles (gestion de arbres anciens, travail sur la transition modèle2/modèle3 qui était arbitraire, remise en question et réflexions sur les modèles proposés par les Centraliens,...) et j'ai ouvert la voie pour la suite du projet chez Kiriola.

Finalement, même si je suis déçu de terminer ce stage en restant bloqué sur ce problème, je reste satisfait de ce que j'ai pu apporter à l'entreprise. Je pense que cette remise en question des contraintes du modèle 3 aurait été très intéressante à explorer mais je n'ai détecté ce problème que tard dans le stage à la suite du changement de solveur, et j'ai donc fait le choix de me concentrer sur des problématiques plus spécifiques comme la gestion des arbres anciens.

Pour la suite de ce projet, il est prévu une nouvelle collaboration entre Kiriola et des élèves de Centrale Lyon en 2021-2022, qui pourront donc reprendre le projet à la suite de mon travail et s'intéresser aux différentes problématiques restantes.

6 : Perspectives d'améliorations

En dehors des problématiques citées plus haut, il reste encore plusieurs idées à explorer afin de poursuivre mon travail, comme :

- Tester les algorithmes sur d'autres sets de données : je n'ai travaillé qu'avec un unique set de données (les parcelles forestières de douglas de Charles de Rambuteau), et il serait intéressant de tester différentes formes de pyramides des âges initiales pour voir comment les modèles réagissent, et s'ils réagissent mal en comprendre la cause dans les données de départ.
- Ramener les résultats en sortie d'optimisation aux parcelles réelles : afin de simplifier l'optimisation du problème, les élèves de Centrale avaient le choix de ne pas garder en mémoire la correspondance entre les parcelles existantes et les différentes opérations que l'on fait pendant l'optimisations (retard/avance, sous division). Il est donc nécessaire d'effectuer ce travail en sortie de l'optimisation.

Ils ont déjà commencé une ébauche d'algorithme pour faire cela mais il reste encore beaucoup de travail pour qu'il soit opérationnel

Pour conclure, je dirai que mon travail a apporté une bonne base pour la suite de ce projet chez Kiriola, et j'espère que les différentes problématiques que je n'ai pas réussi à corriger pourront être surpassées afin d'atteindre le résultat final souhaité.

Partie III : Les apports du stage Centrale Digital Lab pour mon cursus et mon projet professionnel

1 : Les projets du Centrale Digital Lab

J'ai choisi de m'inscrire à la formation du Centrale Digital Lab afin de me spécialiser en informatique et de pouvoir participer à des projets concrets avec des entreprises. J'avais découvert cette formation lors de mon projet d'application avec l'entreprise SEB : notre groupe avait collaboré avec un groupe du Centrale Digital Lab qui travaillait également avec SEB sur un sujet parallèle au notre. J'ai donc eu l'occasion d'échanger avec ces étudiants sur le programme et le fait de réaliser des missions en groupe pour une entreprise dans des domaines variés m'a tout de suite attiré.

Les domaines qui m'intéressaient le plus quand j'ai démarré la formation étaient ceux de l'IA et du machine learning. Mon premier projet avec Pyxya était de l'analyse de données, et on a utilisé des réseaux de neurones sur des times series (des données dépendantes du temps) pour de la prédiction. J'ai beaucoup apprécié ce projet car il m'a permis de voir une autre application des réseaux de neurones. Mon second projet avec Symbio était le développement d'une application web. J'ai moins apprécié ce projet, d'autant plus que nous l'avons réalisé complètement en télétravail. Enfin, mon troisième projet avec la Banque de France était un problème de R&D sur l'explicabilité de l'IA dans le secteur bancaire. C'était un projet d'actualité qui nous a amené à beaucoup de réflexions sur les potentielles évolutions du monde bancaire et dans lequel on a pu caractériser des limites concrètes à l'IA.

Je dirai donc que globalement ces projets ont confirmé mon projet professionnel de départ puisque ce sont les missions concernant l'IA et le machine learning qui m'ont le plus intéressé.

2 : Le stage chez Kiriola

Le sujet de ce stage chez Kiriola (problème d'optimisation) n'était donc pas celui que je cherchais en priorité pour mon stage. Néanmoins, ce stage était tout de même très intéressant sur le plan technique, en faisant appel à la fois à beaucoup de théorie mathématique et de pratique dans l'implémentation des modèles en Python. Je pense tout de même ne pas continuer dans ce domaine pour mon stage de TFE/ mon premier emploi mais cela reste une expérience supplémentaire intéressante.

De plus, ce stage a confirmé mon envie de travailler pour une start-up ou bien une petite entreprise. J'ai beaucoup apprécié voir l'impact de mon travail pour l'entreprise et en quoi je pouvais lui être utile. Le fait d'avoir beaucoup d'autonomie et de liberté dans son travail est très valorisant, et la réussite est d'autant plus gratifiante.

Enfin, le travail en mode agile chez Kiriola est venu compléter ce que j'avais effectué lors des projets du Centrale Digital Lab : le fait de pouvoir s'adapter à des nouvelles problématiques grâce à des échanges réguliers entre toutes les parties d'un projet est un vrai avantage pour la réussite de ce projet. Cela est d'autant plus important puisque je souhaite travailler dans le domaine informatique, où le travail en mode agile est très répandu et très efficace.

Cette année au Centrale Digital Lab, en particulier ce stage, sera un vrai ajout sur mon CV car c'est une nouvelle expérience dans un domaine différent, qui vient compléter mon statut d'ingénieur généraliste, et qui met en avant mon intérêt de travailler dans des petites entreprises.

Pour conclure sur cette partie, la suite de mon projet professionnel se précisera avec mon stage de fin d'étude que je souhaite toujours faire dans le domaine de l'IA ou bien du Machine Learning. Pour l'an prochain j'ai choisi de suivre l'option Mathématiques et le métier R&D, qui vont me permettre de consolider mon niveau théorique en mathématiques appliquées, et également de me décider sur le choix de faire une thèse ou non à la suite de Centrale, étant donné que je ne suis pas encore fixé sur ce choix.

Conclusion

Cette année au Centrale Digital Lab a été riche en expérience, que ce soit dans l'application de mes connaissances dans des projets concrets ou bien dans la découverte de nouveaux aspects théoriques. J'ai pu tester mes capacités dans des spécialités très variées de l'informatique et confirmer mes premiers avis sur le domaine dans lequel je souhaite travailler.

Ce stage chez Kiriola, bien que dans un contexte très particulier de pandémie, m'aura permis de me confronter à un problème réel dans une entreprise et de bien voir la différence entre les cours théoriques et leur application pratique dans un cas précis. Il m'a donné l'occasion d'avoir une bonne expérience de travail dans une start-up, ce qui a confirmé mon envie de travailler dans ce type d'entreprise. De plus, les conditions de travail dans l'entreprise étaient très agréables et m'ont donné envie de m'investir dans ce projet, ce qui était d'autant plus important que je travaillais en quasi-totale autonomie.

Je tiens à remercier tous les membres du Digital Lab (en particulier Mme Fatima Chouikhi qui m'a beaucoup aidé pendant ma recherche de stage), ainsi que tous les étudiants avec qui j'ai pu travailler et échanger cette année.

Je tiens également à remercier Charles, Mickaël et Pablo pour ce stage qui a été une expérience très agréable pour terminer cette année de césure.

Bibliographie

<https://www.kiriola.fr>, le site web de l'entreprise Kiriola

https://fr.wikipedia.org/wiki/Recuit_simulé, article Wikipédia qui explique le principe de l'utilisation du recuit simulé pour trouver les extrema d'une fonction

<https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.minimize.html>, la documentation de la bibliothèque scipy.optimize.minimize

<https://cvxopt.org/index.html>, la documentation de la bibliothèque CVXOPT.

Table des figures

Figure 1 : exemple du site web multilabo.com.....	5
Figure 2 : exemple de pyramide des âges, avec la surface d'arbre planté par année en hectare.....	10
Figure 3 : exemple de résultat obtenu pour le modèle 2.....	12
Figure 4 : exemple de résultat obtenu avec le modèle 3.....	13
Figure 5 : exemple de modèle combiné (2 puis 3) avec 2 générations pour le modèle 2 (2021->2125).....	14
Figure 6 : Données initiales sans les arbres anciens ($\text{âge} > \text{âge_cab} + \Delta$).....	15
Figure 7 : Données initiales avec les arbres anciens ($\text{âge} > \text{âge_cab} + \Delta$).....	16
Figure 8 : exemple de distribution par âge de coupe pour le modèle combiné.....	16